

Школа – Инженерная школа природных ресурсов
 Направление подготовки – Нефтегазовое дело
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение нефтегазового дела

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Тенденции развития способов разрушения горных пород

УДК 622.236-047.44

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ92	Черников Михаил Игоревич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения нефтегазового дела	Ковалёв А.В.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения нефтегазового дела	Романюк В.Б.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор отделения общетехнических дис- циплин	Сечин А.И	д.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения нефтегазового дела	Минаев К.М.	к.х.н.		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
P1	Применять естественнонаучные, математические, гуманитарные, экономические, инженерные, технические и глубокие профессиональные знания в области современных нефтегазовых технологий для решения прикладных междисциплинарных задач и инженерных проблем, соответствующих профилю подготовки (в нефтегазовом секторе экономики).
P2	Планировать и проводить аналитические и экспериментальные исследования с использованием новейших достижений науки и техники, уметь критически оценивать результаты и делать выводы, полученные в сложных и неопределённых условиях; использовать принципы изобретательства, правовые основы в области интеллектуальной собственности.
P3	Проявлять профессиональную осведомленность о передовых знаниях и открытиях в области нефтегазовых технологий с учетом передового отечественного и зарубежного опыта; использовать инновационный подход при разработке новых идей и методов проектирования объектов нефтегазового комплекса для решения инженерных задач развития нефтегазовых технологий, модернизации и усовершенствования нефтегазового производства.
P4	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современные машины и механизмы для реализации технологических процессов нефтегазовой области, обеспечивать их высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда, выполнять требования по защите окружающей среды.
P5	Быстро ориентироваться и выбирать оптимальные решения в многофакторных ситуациях, владеть методами и средствами математического моделирования технологических процессов и объектов.
P6	Эффективно использовать любой имеющийся арсенал технических средств для максимального приближения к поставленным производственным целям при разработке и реализации проектов, проводить экономический анализ затрат, маркетинговые исследования, рассчитывать экономическую эффективность.
P7	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена и руководителя команды, умение формировать задания и оперативные планы всех видов деятельности, распределять обязанности членов команды, готовность нести ответственность за результаты работы.
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности; активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде, разрабатывать документацию и защищать результаты инженерной деятельности.

Школа – Инженерная школа природных ресурсов
 Направление подготовки – Нефтегазовое дело
 Уровень образования – магистратура
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение нефтегазового дела
 Период выполнения – осенний / весенний семестр 2020/2021 учебного года

Форма представления работы:

магистерская диссертация

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2021
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01 марта 2021	1. Проведение литературного обзора по теме	20
01 апреля 2021	2. Разработка методики проведения литературного обзора и обобщения отечественного и зарубежного опыта по тематике диссертации.	15
15 мая 2021	4. Проведение литературного обзора по тематике диссертации и анализ полученных результатов.	40
20 мая 2021	5. Формулирование выводов и рекомендаций.	20
25 мая 2021	6. Предварительная защита диссертации.	5

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения нефтегазового дела	Ковалёв А.В.	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения нефтегазового дела	Ковалёв А.В.	к.т.н.		

Школа – Инженерная школа природных ресурсов
 Направление подготовки – Нефтегазовое дело
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение нефтегазового дела

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП

 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации
(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ92	Черников Михаил Игоревич		

Тема работы:

Анализ технических средств для измерения параметров кривизны скважины	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	17.03.2021, 76-64/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	1 июня 2021 года
--	------------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объект исследования: способы и инструменты разрушения горных пород. Предмет исследования: анализ новых способов разрушения горных пород и соответствующего породоразрушающего инструмента. Методы и средства исследования: аналитические.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	Цель диссертации: Определение наиболее перспективных способов разрушения горных пород. Задачи диссертации: 1 Провести литературный обзор по плану: 1.1 История развития породоразрушающих инструментов и способов разрушения горных пород. 1.2 Классификация способов разрушения горных пород. 1.3 Анализ механических способов разрушения горных пород. 1.4 Анализ немеханических способов разрушения горных пород.

	1.5 Анализ комбинированных способов разрушения горных пород. 2 Описать тенденций развития способов разрушения горных пород и обобщить результаты исследований перспективных способов. 3 Сформулировать выводы и рекомендации.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Необходимость в графических материалах отсутствует
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент отделения нефтегазового дела, к.э.н., Романюк В.Б.
Социальная ответственность	Профессор отделения общетехнических дисциплин, д.т.н. Сечин А.И.
Часть на иностранном языке	Доцент отделения иностранных языков, д.ф.н. Матвеев И.А.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Development trends in methods of rocks destruction	

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕ-
РЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ92	Черникову Михаилу Игоревичу

Школа	Инженерная школа природных ресурсов	Отделение школы (ОНД)	Отделение нефтегазового дела
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	21.04.01 «Нефтегазовое дело» профиль «Строительство глубоких нефтяных и газовых скважин в сложных горно-геологических условиях»

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	В данном разделе ВКР необходимо представить: график выполнения работ, в соответствии с ВКР; трудоёмкость выполнения операций; нормативно-правовую базу, используемую для расчётов; результаты расчётов затрат на выполняемые работы; оценить эффективность нововведений и др. Раздел ВКР должен включать: методику расчёта показателей; исходные данные для расчёта и их источники; результаты расчётов и их анализ.
Нормы и нормативы расходования ресурсов	Нормы расхода материалов, тарифные ставки заработной платы рабочих, нормы амортизационных отчислений, нормы времени на выполнение операций в ходе выполнения операций согласно справочникам Единых норм времени (ЕНВ) и др.
Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Ставка налога на прибыль 20 %; Страховые взносы 30%; Налог на добавленную стоимость 18%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Технико-экономическое обоснование целесообразности внедрения новой техники или технологии выполнения работ
Планирование и формирование бюджета научных исследований	График выполнения работ
Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Расчет экономической эффективности внедрения новой техники или технологии

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

Графики динамики и сравнения показателей

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	07.03.2021
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Романюк В.Б.	к.э.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ92	Черников Михаил Игоревич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ92	Черников Михаил Игоревич

Школа	Инженерная школа природных ресурсов	Отделение школы (ОНД)	Отделение нефтегазового дела
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	21.04.01 «Нефтегазовое дело» профиль «Строительство глубоких нефтяных и газовых скважин в сложных горно-геологических условиях»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования в нефтегазовой промышленности	<p>Объект исследования: Перспективные способы разрушения горных пород.</p> <p>Область применения: Бурение нефтяных и газовых скважин.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: 1.1 Специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; 1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	<p>Описание правовых норм для проведения работ, связанных с эксплуатацией бурового оборудования согласно следующим документам:</p> <ol style="list-style-type: none"> Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 30.04.2021). Федеральный закон РФ от 28.12.2013 № 426-ФЗ (ред. от 01.01.2021) «О специальной оценке условий труда»;
2. Профессиональная социальная ответственность 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов, возникающих при разработке и эксплуатации проектируемого решения. 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия.	<p>Вредные производственные факторы:</p> <ol style="list-style-type: none"> Несовершенство технологического процесса, рабочего инструмента или средств безопасности; Повышенная или пониженная температура поверхностей оборудования, материалов; Повышенный уровень шума и вибраций на рабочем месте; Повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны; Отсутствие или недостаток естественного света, недостаточная освещенность рабочей зоны. <p>Опасные производственные факторы:</p> <ol style="list-style-type: none"> Движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; Опасность поражения электрическим током; Аварии с открытыми фонтанами при строительстве и эксплуатации скважин.
3. Экологическая безопасность: 3.1 Анализ воздействия объекта исследования на окружающую среду; 3.2 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды.	<p>Влияние объекта исследования на окружающую среду:</p> <ol style="list-style-type: none"> Загрязнение атмосферного воздуха; Нарушение гидрогеологического режима; Загрязнением поверхностных водных источников и подземных вод; Повреждение почвенно-растительного покрова. <p>Мероприятия по защите окружающей среды согласно нормативным документам:</p> <ol style="list-style-type: none"> СанПиН 2.1.7.1322-03 Гигиенические требования к размещению и обезвреживанию отходов производства и потребления; Постановление Правительства РФ от 28.12.2020 N 2314.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: 4.1 Перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; 4.2 Разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.	<ol style="list-style-type: none"> Возможные чрезвычайные ситуации при разработке и эксплуатации проектируемого решения – газонефтеводопроявление (ГНВП), возгорание ГСМ, наводнение. Наиболее типичная ЧС: газонефтеводопроявление. Разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	26.02.2021
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ООД ШБИП	Сечин А.И.	д.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ92	Черников Михаил Игоревич		

РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация включает 110 страниц текстового материала, 18 рисунков, 6 таблиц, 122 источника, 6 приложений.

Ключевые слова. Способы разрушения горных пород, механические способы, немеханические способы, вращательное бурение, ударное бурение, тенденции развития.

Объект исследования. Способы и инструменты разрушения горных пород.

Цель работы. Обзор и анализ новых способов разрушения горных пород и соответствующего пород разрушающего инструмента.

Результаты исследования. Выявление наиболее перспективных способов разрушения горных пород и вектор развития индустрии в целом.

Методы проведения исследования. Был проведен сбор данных существующих и развивающихся способов разрушения горных пород и произведен сравнительный анализ. Выделены наиболее перспективные из развивающихся способов.

ABSTRACT

The master's thesis includes 110 pages of text material, 18 figures, 6 tables, 122 sources, 6 appendixes.

Keywords. Methods of rock destruction, mechanical methods, non-mechanical methods, rotary drilling, impact drilling, development trends.

Object of research. Development trends in methods of rocks destruction

Results of research. Identification of the most promising methods of rock destruction and the vector of development of the industry as a whole.

Methods of conducting the research. Data was collected on existing and developing methods of rock destruction and a comparative analysis was carried out. The most promising of the developing methods are highlighted.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

В данной работе применены следующие обозначения и сокращения с соответствующими расшифровками:

ВЗД – винтовой забойный двигатель;
ГЗД – гидравлический забойный двигатель;
КНБК – компоновка низа бурильной колонны;
СПО – спуско-подъемные операции;
КПД – коэффициент полезного действия;
PDC – polycrystalline diamond bits;
ЗТС – забойные телеметрические системы;
РУС – роторные управляемые системы;
ИСМ – институт сверхтвёрдых материалов;
сплавы типа ВК – вольфрамокобальтовые сплавы;
ВВ – взрывчатые вещества;
ЭИ – электрический импульс;
ГИН – генератор импульсных напряжений;
ПРИ – породоразрушающий инструмент;
РГП – разрушение горных пород;
ГП – горные породы;
ПЖ – промывочная жидкость.

При многократном упоминании устойчивых словосочетаний могут быть дополнительно установлены сокращения, применяемые только в данном тексте.

Содержание

Содержание.....	4
Введение.....	6
1 История развития основных технологий и способов разрушения горных пород в России и за рубежом	7
1.1 Истоки ведения буровых работ в мировой истории.....	7
1.2 Внедрение и развитие технологии бурения вращательным способом.....	9
1.3 Хронология развития породоразрушающего инструмента	11
1.3.1 Бурение сплошным забоем	11
1.3.2 Развитие колонкового бурения, внедрение алмазов	13
2 Способы разрушения горных пород при бурении скважин	15
2.1 Механические способы разрушения горной породы	16
2.1.1 Породоразрушающие инструменты.....	18
2.1.1.1 Классификация породоразрушающих инструментов	19
2.1.1.2 Тенденции развития породоразрушающих инструментов.....	20
2.2 Немеханические способы разрушения горных пород	23
2.2.1 Термические способы разрушения горных пород.....	24
2.2.1.1 Взрывной способ.....	25
2.2.1.2 Огнеструйный способ	27
2.2.1.3 Лазерный способ	29
2.2.1.4 Плазменный способ	32
2.2.1.5 Термомеханический способ.....	37
2.2.1.6 Электротермо-механический способ.....	39
2.2.2 Электрофизические способы разрушения горных пород.....	40
2.2.2.1 Ультразвуковой способ	40
2.2.2.2 Электрогидравлический способ	42
2.2.2.3 Электроимпульсный способ	43
2.2.2.4 Электроимпульсно-механический способ	45
2.2.3 Гидродинамические способы разрушения горных пород	47
2.2.3.1 Гидромониторный способ.....	47
2.2.3.2 Абразивно-ударный и гидромониторно-ударный способы	48
2.2.3.3 Комбинированные гидродинамические и механические способы	49
2.2.4 Химические способы разрушения.....	51
3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	53
3.1 Применение методических и технологических решений.....	53
4. Социальная ответственность	62
4.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	62
4.1.1. Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства.....	62
4.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	63
4.2 Производственная безопасность	63
4.2.1 Анализ вредных производственных факторов, обоснование мероприятий по защите персонала от их воздействия	63

4.2.1.1 Анализ показателей климата и метеоусловий на открытом воздухе	64
4.2.1.2 Повышенный уровень шума.....	64
4.2.1.3 Повышенный уровень вибрации.....	65
4.2.1.4 Повышенная загазованность воздуха рабочей среды.....	66
4.2.1.5 Недостаточная освещённость.....	66
4.2.1.6 Повреждения в результате контакта с живыми организмами	67
4.2.1.7 Физические и нервно-психические перегрузки.....	67
4.2.2 Анализ опасных производственных факторов, обоснование мероприятий по их устранении.	67
4.2.2.1 Движущиеся машины и механизмы, подвижные части производственного оборудования	68
4.2.2.2 Электрический ток.....	68
4.2.2.3 Расположение рабочего места на значительной высоте, падение предметов с высоты.....	70
4.2.2.4 Пожаровзрывоопасность.....	71
4.3 Экологическая безопасность.....	72
4.3.1 Анализ влияния процесса строительства скважины на окружающую среду	72
4.3.2 Обоснование решений по обеспечению экологической безопасности	73
4.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	73
4.4.1 Анализ возможных ЧС, возникающих при строительстве скважин	73
4.4.2 Обоснование мероприятий по предупреждению и ликвидации ЧС.....	74
Заключение	75
Список литературы	77
Приложение А	88
Abstract	89
Introduction	89
1 Unconventional drilling methods.....	90
1.1 Laser	91
1.2 Laser Mechanical Bit	92
1.3 Stage of laser drilling	93
1.4 Spallation and Melting Zone Identified	93
1.5 Method and Discussion.....	94
1.6 Change in physical properties of rock	95
1.7 Laser Drilling and its advantages.....	97
1.8 Limitations of Laser Drilling	98
Conclusion.....	98
Приложение Б.....	100
Приложение В.....	104
Приложение Г	105
Приложение Д.....	109
Приложение Е.....	110

Введение

Потребность в развитии новой техники, новых высокоэффективных технологических процессов и оборудования, средств механизации и автоматизации, без которых стал немислим технический прогресс в бурении нефтяных и газовых скважин, привело к исследованию и разработке целого ряда новых методов разрушения твердых тел, основанных на различных механических и физических принципах.

В настоящее время по всему миру разрабатываются новые месторождения, которые зачастую находятся в условиях сурового климата или имеют большую глубину залегания нефтеносных слоев. В связи с этим необходимы высокотехнологичные способы разрушения горных пород, которые ускоряют процесс бурения, повышают качество бурения и в то же время сохраняют невысокую себестоимость работ.

В отечественной и зарубежной практике ведутся научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы в области создания новых методов бурения, технологий, техники. К ним относятся углубление в горных породах с использованием различных способов разрушения горных пород. Анализ методов воздействия на горную породу свидетельствует о необходимости увеличения подводимой к забою мощности.

Некоторые из разрабатываемых методов получают развитие в наши дни и начинают использоваться, хотя и в незначительном объеме, зачастую на стадии эксперимента.

Целью данной работы является проведение анализа различных способов разрушения горных пород, с целью выявления наиболее перспективных из них.

Перечень задач для достижения целей рассматриваемой проблемы:

- 1) Обзор литературных источников.
- 2) Описание тенденций развития способов разрушения горных пород.
- 3) Обобщение результатов исследований перспективных способов.

1 История развития основных технологий и способов разрушения горных пород в России и за рубежом

1.1 Истоки ведения буровых работ в мировой истории

В данном разделе будет освещено возникновение и принципы развития технологий бурения с древних времен до настоящего времени, теория создания инструментов и приспособлений при бурении. Дана информация по первому бурению скважин в Китае, России, Америке. Подробно рассмотрены технология бурения, бурильные станки от истоков до бурного развития в XIX веке. Представлена практика вращательного роторного бурения с промывкой скважины, турбинным способом бурения, внедрения электродвигателя и забойного двигателя, а также создание турбинного наклонно-направленного бурения.

Согласно историческим источникам, первые скважины в истории человечества начали бурить ударно-канатным способом за 2000 лет до нашей эры для добычи рассолов в Китае. В работах Конфуция, жившего в VI–V вв. до нашей эры, содержатся упоминания о древних буровых установках. В них описывается бурение ударным способом скважин глубиной до 100 метров для добычи солевых растворов. Практически все механизмы, в том числе и буровой снаряд, древние китайцы изготавливали из бамбука, а при сборке применялись только веревки и бамбуковые клинышки. Глубинные скважины бурились годами, секреты же технологий бурения тщательно охранялись [1].

Бурение первых скважин в России относится к IX в. и связано с добычей растворов поваренной соли в г. Старая Русса. Затем в XII в. соляные промыслы развиваются в Балахне, в XVI в. Соликамске. На русских соляных промыслах издавна применялось ударное штанговое бурение. Во избежание ржавления буровые штанги делали деревянными; стенки скважин закрепляли деревянными трубами. Бурение скважин для добычи рассолов с последующей выпаркой соли было широко распространено в России, так как на протяжении нескольких веков соляной промысел занимал существенное место в общем доходе России и рассматривался как дело государственной важности [2].

Первый буровой колодец, закрепленный трубами, был пробурен на воду в XII в. году в провинции Артуа во Франции, отсюда глубокие колодцы с напорной водой получили название артезианских.

В 1846 году, французским инженером М. Фовеллем был предложен способ промывки – непрерывной очисткой скважины циркуляцией промывочной жидкости. Появился термин «промывка», применяемый и в настоящее время при бурении скважин. Безусловное достоинство данного способа заключается в том, что он не требовал остановки бурения. В совокупности указанные факторы привели к широкому распространению бурения на нефть и в других странах [15].

Исследованиями последних лет установлено, что первая скважина на нефть была пробурена на Апшеронском полуострове в посёлке Биби-Эйбат близ Баку, входившем тогда в Российскую империю в 1846 году по инициативе В.Н. Семенова, на основе идей Николая Воскобойникова. Глубина скважины составила 21 метров, скважина была разведочной [3].

Первую скважину на нефть в США в 1859 году заложил американец Э. Дрейк, работавший по заданию фирмы «Seneca Oil Company», близ г. Тайтесвилла в Пенсильвании. Нефть была получена на глубине 22 метра после двух месяцев буровых работ, что положило начало нефтяной промышленности США.

В 1859 году Г. Д. Романовский впервые механизировал работы, применив паровой двигатель для бурения скважины вблизи села Ерино возле Подольска, Московская губерния.

В 1864 первая в России эксплуатационная скважина была пробурена на Кубани, в селе Киевском, в долине реки Кудак под руководством полковника А.Н. Новосильцева, скважина на нефть, глубиной 55 метров, была создана с применением механического ударно-канатного бурения.

На нефтяных промыслах Баку первые паровые машины появились в 1873 году, а через 10 лет почти повсеместно они заменили конную тягу. При бурении скважин на нефть на первом этапе получил развитие ударный способ – бурение штанговое, канатное, быстроударное с промывкой забоя [4].

1.2 Внедрение и развитие технологии бурения вращательным способом

С 1870 года стали выпускать буровые станки для бурения с приводным паровым двигателем мощностью в 5 – 7 л.с. и с частотой вращения более 360 об/мин. В 1878 году происходит широкое внедрение геологоразведочного бурения – создаются станки вращательного бурения: «Сулливан» – с гидравлической подачей, станки «Крелиус» с ручной рычажной подачей - практичные и способные бурить скважины до 1000 метров, последние - основные станки разведочного бурения вплоть до 50 годов прошлого века и в нашей стране. На рисунке 1 представлен станок «Сулливан» [4].



Рисунок 1 – Станок вращательного бурения «Сулливан»

В конце XIX века в 1887 году в Новом Орлеане в Луизиане, США впервые было применено вращательное роторное бурение, более эффективное по сравнению с ударным, с промывкой забоя глинистым раствором.

В России вращательное роторное бурение с промывкой впервые применили в 1902 году в г. Грозном для бурения скважины на нефть глубиной 345 метров.

Одной из труднейших проблем, возникших при бурении скважин, особенно при роторном способе, была проблема герметизации затрубного пространства между обсадными трубами и стенками скважины. Решил эту проблему русский инженер А.А. Богушевский, разработавший и запатентовавший в 1906 году способ закачки цементного раствора в обсадную колонну с последующим вытеснением его через низ (башмак) обсадной колонны в затрубное пространство. Этот способ цементирования быстро распространился в отечественной и зарубежной практике бурения [8].

Вместе с тем в начале XX века широкого применения в России роторный способ бурения не нашел. В 1913 году на промыслах Апшеронского полуострова работало только 20 установок роторного бурения, в то время как число станков ударно-штангового бурения достигало 900 единиц. Одной из причин, тормозивших внедрение роторного бурения, было сильное искривление скважин. Кроме того, вращение колонны труб, особенно при большой глубине скважины, вызывало частые аварии. Вращение долота осуществлялось вращением всей колонны бурильных труб с поверхности земли.

При переходе от ударного к вращательному бурению, при котором одновременно производилась и углубление скважины, и ее очистка буровым раствором, было достигнуто значительное увеличение скорости бурения. К тому же усовершенствование бурения и переход с ударного способа на вращательный дали возможность вскрывать все более и более глубоко залегающие слои земной коры.

Однако у роторного бурения был крупный недостаток: приходилось вращать долото вместе со всей колонной бурильных труб непосредственно с поверхности, а при большой глубине скважин вес этой колонны весьма велик. В целях снижения расхода энергии и материалов инженеры взялись за разработку

инструмента, в котором вращение происходило бы только на забое, при неподвижной буровой колонне [7].

1.3 Хронология развития породоразрушающего инструмента

1.3.1 Бурение сплошным забоем

Долото – основной элемент бурового инструмента для механического разрушения горных пород в процессе бурения скважины. Термин "долото" сохранился от раннего периода развития техники бурения, когда единственным способом проходки скважины было ударное бурение, при котором буровое долото имело сходство с плотничным инструментом того же наименования.

Технические усовершенствования бурения в XIX веке открываются предложением немецкого инженера Эйгаузена в 1834 году применять так называемые ножницы, сдвигавшаяся пара звеньев при штанговом бурении. Идея сбрасывать соединённое со штангами долото привела к изобретению во Франции Киндом в 1844 году свободно падающего бурового инструмента «фрейфала». Этот способ получил название «немецкий» [6].

Технология ударно-штангового способа заключалась в следующем. На месте бурения скважины сооружалась деревянная вышка высотой до 11 м. Внутри нее закладывался неглубокий колодец, до 2,5 метров, который перекрывался деревянным настилом с отверстием посередине для прохождения штанги. Вверху буровой вышки укреплялся блок, через который перекидывался канат. Один конец каната присоединялся к лебедке, к другому концу прикреплялась металлическая штанга, увенчанная долотом. Штангу с долотом на конце с помощью лебедки сначала поднимали, а затем бросали, создавая тем самым ударный импульс на забое скважины. Разрушение породы производилось с помощью ударного долота, самым распространенным стало долото типа «рыбий хвост». По окончании дробления разрушенную породу вычерпывали специальным инструментом – желонкой. Этот процесс получил название тартание. Спуск и подъем бурового инструмента повторялся через каждые 0,3–0,5 м. Затраты

времени на операцию спуска-подъема увеличивались по мере увеличения глубины бурения, поэтому скорость ударного способа бурения была довольно низкая [5].

Внедрение роторного бурения потребовало замены основного породоразрушающего инструмента – долота типа «рыбий хвост», конструкция которого без существенных изменений сохранилась со времени первых рассолоподъемных скважин. Первоначально долота типа «рыбий хвост», лезвия которых отгибались в сторону вращения, использовались и в роторном бурении, в породах средней твердости применяли дисковые долота, частые поломки которых обусловили создание долот, где рабочий орган представлял собой зубчатый цилиндр или конус – шарошку.

В 1909 году У. Шарп и Г. Хьюз получили патент на долото с двумя коническими шарошками, которое при вращении совмещало действие резания и удара. Именно долото Шарпа–Хьюза стало прототипом для шарошечных долот различных конструкций, которые используются и сегодня.

В 1929 году Говард Хьюз разработал и запатентовал, созданную на базе двухшарошечного, трехшарошечное буровое долото, обладающего значительно большей устойчивостью к сохранению направления бурения, чем двухшарошечное [9].

Появление в 1935 году трехшарошечных долот с опорами качения и смещенными осями шарошек завершило формирование нового роторного способа бурения, что можно расценить как техническую революцию в бурении, равную по влиянию с изобретением ударного способа бурения в Китае.

С тех пор усовершенствования затрагивают и предусматривают: армирование шарошек более твердым металлом, навариваемым на стальные зубцы; применение антифрикционных роликовых подшипников с шариковым замковым подшипником, удерживающим шарошки; вставок из карбида вольфрама, самосмазывающихся герметичных роликовых подшипников и подшипников скольжения.

Эта тенденция продолжается в настоящее время, о чем свидетельствуют новые конструкции подшипников и систем герметизации, усовершенствованные системы удержания шарошек, улучшенные режущие элементы с упрочнением карбидом вольфрама и алмазным композитом, которые обеспечивают превосходные рабочие характеристики и надежность, особенно в труднопроходимых твердых породах, при высокоскоростном бурении с использованием забойных двигателей или турбин [10].

1.3.2 Развитие колонкового бурения, внедрение алмазов

В 1899 году американским инженером Дэвисом было предложено дробовое бурение для проходки скважин в твёрдых трещиноватых породах. Принцип работы при дробовом бурении следующий, буровая чугунная литая дробь, по форме близкая к шару, засыпалась в скважину через бурильную колонну. При вращении коронки на забое, дробь, находящаяся между коронкой и стенками скважины, перекатываясь разрушала породу забоя. Разрушенная порода и поврежденная дробь в виде шлама поднималась потоком буровой жидкости и осаждалась в шламовой трубе. Поврежденная дробь заменялась непрерывно на новую, которая находилась в специальном зазоре между стенками скважины и коронкой. Новая дробь попадала под торец коронки через наклонный вырез коронки. Напор промывочной жидкости должен был быть оптимальным, чтобы поднимать шлам от забоя, но не выносить рабочую дробь на устье [12].

В 1915 году германский инженер Лемм предлагает твердосплавное бурение, использовался твердый сплав для вооружения породоразрушающего инструмента – литой карбид вольфрама – воломит.

До 1927 года в СССР колонковое бурение в твердых породах осуществлялось с использованием дорогих крупноалмазных коронок. Буровые коронки оснащались крупными алмазами, так как они закреплялись механическим способом, а это делало очень дорогим алмазный инструмент. Дробовое бурение стало применяться с 1927 года.

В 1939 году советский учёный Овсей Лейпунский вычислил необходимые величины давления для успешного синтеза алмазов: минимум 60 000 атмосфер. Впервые воспроизводимый синтез был выполнен в 1953 году: шведский учёный Бальцар фон Платен сконструировал установку, в которой кубический образец сжимался шестью поршнями с разных сторон.

Распространению алмазов в бурении способствовали начавшийся промышленный выпуск синтетических алмазов в 1954 году и изготовление из них импрегнированных алмазных инструментов.

До середины 60-х годов дробовое бурение было основным способом геологоразведочного бурения в крепких породах, в дальнейшем оно стало вытесняться более эффективным алмазным бурением [14].

В 1973 году на основе технологии, разработанной компанией «General Electric», которая позволяет импрегнировать синтетические алмазы в карбид вольфрама, стали поступать в отрасль долота PDC. Улучшенные гибридные конструкции сочетали использование синтетических поликристаллических алмазов с режущими алмазными головками. Было создано новое поколение долот PDC, отвечающих сложным требованиям наклонно-направленного бурения, а усиленные долота с импрегнированными алмазами также нашли новые области применения [9].

2 Способы разрушения горных пород при бурении скважин

Процесс разрушения горных пород при бурении – разрушение горных пород на забое скважины вследствие механического, термического, электрофизического, гидродинамического, химического или же комбинированного воздействия, производимого с целью формирования поля напряжений, достаточных для нарушения сплошности определенного объема (слоя) горного массива или преобразования породы в расплав, пар, раствор и удаление образовавшихся продуктов разрушения, растворения или плавления с забоя скважины на поверхность или в скважинное пространство.

Рациональное соотношение операций породоразрушающего воздействия на породу и удаления продуктов разрушения с забоя из-под торца бурового инструмента является важным аспектом, определяющим минимальную энергоемкость и, соответственно, эффективность бурового процесса. Энергоемкость процесса разрушения горных пород на забое скважины – показатель эффективности процесса разрушения горных пород, определяемый как отношение затраченной на разрушение породы энергии к интервалу углубки (объему разрушенной породы) за определенный отрезок времени.

В данном случае важно подчеркнуть, что процесс разрушения породы при бурении – два взаимосвязанных явления: собственно нарушение целостности породы породоразрушающим действием и удаление, по возможности мгновенное, полученных продуктов разрушения из зоны работы породоразрушающих элементов инструмента. Эти два взаимосвязанных явления объединены в понятии буримость.

Буримость – сопротивляемость горной породы разрушению буровым инструментом, задаваемая совокупностью прочностных и абразивных свойств горной породы, способом и интенсивностью породоразрушающего действия, конструктивными параметрами и техническим состоянием бурового инструмента, а также способом и параметрами процесса удаления продуктов разрушения. Количественно буримость можно оценить механической скоростью бурения [20].

Полная классификация методов разрушения горных пород и способов бурения представлена на рисунке В.1 приложения В.

2.1 Механические способы разрушения горной породы

Большинство способов бурения основано на механическом разделении некоторого объема породы (призабойного слоя) на частицы небольшого размера. Разделение объема породы происходит под воздействием поля механических напряжений, создаваемых в отдельных точках забоя, в которых напряжения достигают критических, с точки зрения прочности горных пород, значений.

При механическом разрушении напряжения в определенных зонах забоя превышают сопротивление внутренних связей в горной породе. Концентрированные напряжения возникают под воздействием внешних сил, появление которых связано с силовым воздействием со стороны буровых инструментов, оснащенных породоразрушающими элементами, твердость которых существенно выше твердости горных пород.

В результате взаимодействия породоразрушающего инструмента с забоем в горной породе под торцом инструмента формируется поле механических напряжений как результат объемно-геометрического суммирования напряжений от действия отдельных сил со стороны каждого породоразрушающего элемента [21].

Механические способы бурения – способы, при которых порода на забое скважины разрушается путем резания, дробления, скалывания или истирания различными породоразрушающими инструментами. К ним относятся вращательное, ударно-вращательное, ударно-поворотное, ударное и бурение задавливанием инструмента в породу.

На сегодняшний день основными разновидностями механического бурения с использованием породоразрушающего инструмента, используемого для сооружения исследовательских и эксплуатационных скважин, являются вращательные способы:

– роторное бурение (вращение передается инструменту через бурильную колонну ротором, установленным в буровой вышке);

- турбинное бурение (вращение инструмента двигателем-турбобуром непосредственно на забое);
- роторно-турбинное бурение (вращение инструмента турбобуром, установленным в забойном агрегате, вращаемом через колонну ротором);
- реактивно-турбинное бурение (вращение инструмента турбобуром, агрегат вращается от реактивных моментов);
- электробурение (вращение инструмента электромотором непосредственно на забое);
- бурение объемным двигателем (вращение инструмента винтовым гидравлическим двигателем на забое) [23].

Достоинства механического бурения: возможность отбора натуральных образцов пород для составления геологического разреза и их всестороннего изучения; благоприятные условия для вскрытия и исследования водоносных и нефтегазоносных горизонтов.

Недостатки механического бурения: с увеличением крепости пород происходит быстрый износ рабочих элементов породоразрушающих инструментов, приводящий к необходимости его замены; высокие энергозатраты и невысокая скорость бурения [22].

Главной особенностью нагружения горной породы инструментом является то, что к разрушаемому телу прикладывается статическая или ударная нагрузка с преобладанием напряжений сжатия или среза. Разрушение производится при высоком давлении разрушающего инструмента на горную породу и сопровождается большими потерями энергии. Следствием применения интенсивного давления на породу является малая стойкость и высокий износ бурового инструмента, и значительные потери времени на его замену, особенно при бурении.

Следует отметить, что резервы механических способов бурения в настоящее время полностью не исчерпаны. В связи с появлением новых сверхтвердых материалов, технологий их обработки, упрочнения металлов и сплавов, новых конструкций бурового инструмента, мощных и надежных забойных приводов,

забойных машин, инновационных управляемых систем непрерывно растет производительность бурения.

2.1.1 Породоразрушающие инструменты

Буровое долото – основной элемент бурового инструмента для механического разрушения горной породы на забое скважины в процессе ее проходки. Долото закрепляют в конце бурильной колонны, которая передает ему осевое и окружное усилие, создаваемое буровой установкой.

Интенсивное развитие промышленного и разведочного бурения в настоящее время связано с использованием различного оборудования и инструментов. Применение тех или иных технических средств или технологических мероприятий в конкретных геологических условиях, часто резко различающихся по физико-механическим свойствам пород, обуславливает сложность выбора буровых долот. Поэтому при бурении скважин следует строго соблюдать технику бурения и учитывать особенности типа бурового долота. При несоблюдении техники могут возникнуть осложнения в виде разрушений бурового долота, перегреве, смещения осей шарошечных долот, и вследствие этого, быстрое изнашивание инструмента и проведение дополнительных операций по извлечению поврежденного оборудования из скважины.

Бурильные долота и бурильные головки изготавливают из прочных и износостойких материалов, т.к. в процессе бурения на долото действуют осевые и ударные нагрузки, вращающий момент, а также давление и химическая активность промывочной жидкости. Для секций и шарошек бурового долота применяют хромоникельмолибденовые, хромоникелевые и никель-молибденовые стали.

Срок службы, стойкость, или долговечность, инструмента, его узла или детали зависит от условий применения и режима эксплуатации. С увеличением глубины бурения роль этих параметров растет и применение инструмента, характеризующегося небольшим сроком службы, оказывается экономически невыгодным.

Один из важнейших, наиболее универсальных параметров, общий для всех видов бурового инструмента — фактический срок его службы. Он обеспечивает возможность оценить практическую ценность конструкции инструмента каждого классификационного подразделения и входит в эксплуатационную характеристику в качестве ее основного компонента. Стойкость, или долговечность, инструмента характеризует работоспособность промышленного изделия [47].

2.1.1.1 Классификация породоразрушающих инструментов

Буровые долота делятся по:

1) назначению:

— для сплошного бурения (разрушение горной породы по всему забою скважины);

— для бурения с отбором керна (разрушение горную породу по кольцу забоя скважины с оставлением в её центральной части керна);

— для специальных целей (зарезные долота, расширители, фрезеры и др.).

2) исполнению:

— шарошечные;

— лопастные;

— алмазные

— долота ИСМ;

— фрезерные;

— специальные.

3) воздействию на горную породу:

— дробящего типа;

— дробящее-скалывающие типа (шарошечные);

— режуще-истирающего типа (ИСМ, алмазные);

— режуще-скалывающего типа (лопастные).

Разнообразие геологических и физико-механических свойств буримых пород предопределяет разработку все новых породоразрушающих

инструментов, отличающихся наибольшей эффективностью в конкретных горно-геологических условиях [48].

2.1.1.2 Тенденции развития породоразрушающих инструментов

Разработка методов повышения износостойкости бурового инструмента является актуальным и многоплановым направлением развития буровых технологий, основной задачей является создание производительного и высокоресурсного бурового инструмента.

Ресурс бурового инструмента может определяться длиной интервала или временем бурения при достижении определенной механической скорости.

Ресурс бурового инструмента определяется сохранением вооружения: геометрической формы, параметров приострения резцов, диаметра инструмента на определенном этапе породоразрушающего воздействия. Для шарошечных долот ресурс определяется и сохранением работоспособности опор вращения (подшипников) шарошек. Чем длительнее будет этот этап, тем выше эффективный ресурс бурового инструмента.

Эффективный ресурс бурового инструмента определяется длительностью этапа породоразрушающего воздействия, при котором достигается максимальная и близкая к ней механическая скорость бурения.

В то же время, очевидно, что если происходит механическое разрушение породы, то ресурс инструмента объективно ограничен, так как процесс механического разрушения является всегда двусторонним, т.е. если разрушается и изнашивается порода, то будет изнашиваться и разрушаться сам буровой инструмент.

Таким образом, любой породоразрушающий инструмент, предназначенный для разрушения породы одним из механических способов, не может иметь неограниченный ресурс и быть абсолютно универсальным по породоразрушающему действию.

Поэтому разработка инструмента в направлении совершенной высокоресурсной, универсальной и производительной системы связано с переходом на

микроуровень с заменой полей механических напряжений, под действием которых происходит разрушение породы, на поля иной природы.

Такие инструменты могут быть универсальны (при корректировке параметров управления), иметь неограниченный ресурс и высокую производительность.

По оценкам специалистов, на пути к реализации подобных инструментов и технологий рациональным промежуточным этапом развития может быть комбинирование механического разрушения пород резанием, скалыванием или дроблением с термическим или электротермическим разрушением. В данном случае интенсификация разрушения достигается за счет наложения поля механических напряжений и температурного поля [49].

При механическом разрушении пород ресурс инструмента напрямую определяется его износостойкостью.

Основными направлениями повышения износостойкости инструмента, повышающими его эффективный ресурс, являются:

- разработка высокопрочных, повышенной сопротивляемости к динамическим нагрузкам и терморазупрочняющему воздействию твердых и сверхтвердых материалов, таких как сплавы типа ВК или пластины с поликристаллическими алмазами PDC;
- защита изнашиваемых поверхностей корпуса и вооружения долот наплавляемыми твердыми сплавами и поликристаллическим алмазным покрытием;
- разработка долговечных, в условиях высокого гидростатического давления и абразивного воздействия, опор шарошечных долот.
- повышение эффективности отвода тепла от бурового инструмента, прежде всего его породоразрушающих элементов;
- повышение прочности резцов и корпусов бурового инструмента методами поверхностного и объемного упрочнения;

- снижение динамических нагрузок на буровой инструмент, возникающих при вибрации буровой компоновки и самого инструмента вследствие разрушения неоднородных и трещиноватых пород;
- создание инструментов с формами торца и схемами вооружения, обеспечивающими равномерный износ рабочих породоразрушающих поверхностей (торцевой, боковых наружной и внутренней);
- создание инструментов с рабочими породоразрушающими поверхностями или резцами, обеспечивающими при изнашивании сохранение начальных геометрических параметров вооружения (эффект самозатачивания);
- создание инструментов, у которых осуществляется восстановление рабочих породоразрушающих поверхностей одновременно с разрушением породы.

2.2 Немеханические способы разрушения горных пород

В настоящее время получают развитие новые способы бурения без использования специальных породоразрушающих инструментов.

Напряжения в горной породе могут возникать и вследствие напора струи жидкости, при действии взрывной волны или расширяющихся при взрыве газов, гидравлического удара.

Разрушение может происходить в результате действия внутренних сил, возникающих под влиянием градиента температуры породы, задаваемого струей раскаленных газов, электрическим полем или электромагнитным излучением оптического диапазона малой частоты, вызванным лазером и др. При термическом воздействии на горную породу происходит ее плавление с выделением газа. Растворению водой подвержены соли. Для бурения используют также комбинированные способы разрушения горных пород, например термомеханический, когда породоразрушающий инструмент для бурения механическим способом нагревается до температуры, достаточной для пластического размягчения горной породы в призабойном слое. В данном случае интенсификация процесса разрушения достигается за счет наложения полей механических напряжений и температурного поля. Нагрев породоразрушающего инструмента производится за счет подачи электроэнергии, нагрева паром или различными горелками. Предварительные исследования показали, что скорость бурения термомеханическим способом может возрасти от 2 до 100 раз по сравнению с механическим без какой-либо значительной зависимости от степени износа резца [50].

Развитие новых видов породоразрушающих инструментов связано в перспективе с новыми принципами разрушения горных пород. Всем известным способам разрушения присущи недостатки, ограничивающие эффективность и технико-экономическую целесообразность их применения, особенно при разрушении крепких и весьма крепких горных пород. Преимущественно данные методы бурения находятся в стадии исследовательских и конструкторских разработок.

2.2.1 Термические способы разрушения горных пород

Термические способы разрушения горных пород являются одной из развивающихся технологий. При термическом способе бурения горные породы разрушаются высокотемпературным источником тепла. Данные способы основаны на тепловых свойствах горных пород, их теплопроводности, коэффициенте линейного и объемного расширения и теплоотдачи. Там же отмечено, что породы хрупкие с низким коэффициентом Пуассона разрушаются быстрее, с меньшими удельными энергозатратами, чем породы, в которых превалируют пластические деформации.

Опыт ведения буровых работ показал, что с увеличением крепости пород скорость механического бурения снижается, в то же время при термическом воздействии на породу наблюдается обратная картина, т.е. с ростом крепости возрастает и скорость бурения. Это и обуславливает основное направление в поисках эффективных средств и устройств, реализующих принцип теплового воздействия на породу.

При термическом разрушении в горных породах протекают следующие процессы: тепловое расширение; нарушение кристаллической решетки; полиморфные превращения в окварцованных породах; химические превращения; изменение агрегатного состояния вплоть до плавления; изменение тепловых свойств породы; изменение прочностных характеристик.

Твёрдая среда (горная порода, бетон, лёд) при термическом бурении разрушается в режимах хрупкого шелушения и плавления; при хрупком шелушении от нагреваемой до температуры 300—600 °С поверхности забоя отделяются небольшие твёрдые частицы (1—20 мм). Причина разрушения — термические напряжения, вызванные неравномерным прогревом поверхностного слоя среды; режим шелушения характерен для гранитов, песчаников, безрудных и железистых кварцитов.

При режиме плавления разрушаемая среда, нагреваясь, переходит из твёрдого состояния в жидкое (расплав). Продукты разрушения выносятся из скважины газовым потоком; в режиме плавления разрушаются бетон, лёд и

некоторые горные породы (сланцы, базальты, габбро). Применение термического бурения целесообразно только в породах, склонных к хрупкому термическому шелушению. Это определяется комплексом их физических свойств (тепловые, упругие, прочностные), получивших название критерия термобуримости. Скважина бурится обычно с максимальной линейной скоростью при минимально допустимом её диаметре, который определяется диаметром термоинструмента. Чистая скорость бурения в породах, склонных к хрупкому шелушению, 4–25 м/ч.

Совершенствование термических способов разрушения горных пород может быть достигнуто благодаря использованию комбинаций различных видов физических воздействий с тепловым, что позволяет увеличить термодинамические параметры газовых струй и уменьшить температуру хрупкого шелушения.

Конкретные варианты реализации этого принципа имеют большое разнообразие, так как все зависит от принятой схемы контакта источника тепла и породы. В настоящее время разрабатываются следующие схемы теплового воздействия на горную породу для её разрушения:

- Взрывной;
- Огнеструйный;
- Лазерный;
- Плазменный;
- Термомеханический.

2.2.1.1 Взрывной способ

Взрывное бурение – способ сооружения скважин путём разрушения породы на забое последовательными взрывами зарядов ВВ и удалением продуктов разрушения после каждого взрыва.

Впервые проходка скважин взрывами была предложена в СССР Ю. Д. Колодяжным и М. И. Кейном в 1942 году. Существует два вида взрывного бурения: ампульный и струйный.

Ампульное взрывобурение заключается в том, что специальная ампула, заряженная двумя компонентами (горючее и окислитель) отделенными друг от друга перегородкой, посылается в скважину по каналу внутри бурильной колонны и достигнув дна скважины ударяясь о забой детонирует и взрывается. В результате взрыва порода на забое разрушается.

Заполнение, окончательная сборка и посылка в скважину ампул производится специальной автоматической установкой. Ампула имеет корпус обтекаемой формы и хвостовую часть в виде стабилизатора. Бурильные трубы, применяемые при взрывобурении, имеют гладкие каналы с плавными переходами для беспрепятственного прохождения по ним ампулы. Нижняя часть внутреннего канала бурильной колонны устроена так, что при прохождении по нему ампула сжимается, в результате чего разделяющая перегородка разрушается и происходит смешение горючего материала и окислителя. При таком смешивании получается взрывчатая смесь. Детонация взрывчатой смеси производится от капсюля-воспламенителя, срабатывающего при ударе ампулы о забой скважины. Оптимальное расстояние сопла от забоя бывает в пределах 0,1-0,4 м.

Разрушенная при взрывах порода в основном выносится из скважин при промывке ее буровым раствором или поднимается продуктами взрыва и подхватывается сжатым воздухом и выносится на поверхность.

При струйном взрывобурении, по двум отдельным каналам, к забою непрерывно подаются два компонента (горючее и окислитель), которые образуют на забое заряд взрывчатого вещества в виде плоского накладного жидкого слоя. Взрыв осуществляется третьим компонентом — жидким инициатором взрыва, который подается из специальной ёмкости с регулируемой частотой от 100 до 1500 импульсов в минуту. Инициатор взрыва представляет собой эвтектическую смесь калия и натрия. [121]

При испытании струйного взрывного бурения на опытном станке конструкции «ЦНИИподземмаша» в качестве горючего применяли керосин, а в качестве окислителя — оксид азота. При бурении горючее и окислитель непрерывно вытекают из сопел на забой, а частота подачи иницирующего состава

регулируется от 1 до 1400 порций в минуту. За счет этого на забое может образоваться заряд различной величины. При взрыве часть струи от забоя до среза сопла взрывогенератора под действием тепла переходит в газообразное состояние. Поэтому коэффициент использования ВВ на разрушение породы довольно низок, а при работе образуется весьма много ядовитых окислов азота, в которые при испарении превращается оксид азота.

Испытаниями на карьерах Кривбасса было установлено следующее: число взрывов в минуту 700–800, расстояние от торца взрывогенератора до забоя 100 мм, частота вращения 8 мин⁻¹, расход ВВ 11–14 л/мин. При этом образовывались скважины диаметром 250—390 мм при скорости бурения 30–40 м/ч до глубины 5 м, а при большей глубине (до 11 м) скорость бурения снижалась до 1 м/ч из-за плохой очистки забоя скважины от продуктов разрушения. Существенными недостатками способа являются выделение большого объема весьма ядовитых окислов азота, большие трудности при бурении обводненных скважин и сильно трещиноватых пород. [122].

Данный способ оказался нецелесообразным и не нашел применения в отрасли бурения.

2.2.1.2 Огнеструйный способ

Огнеструйное бурение – способ бурения, основанный на разрушении горных пород на забое скважины высокотемпературными газовыми струями, вылетающими со сверхзвуковой скоростью из сопел огнеструйной горелки.

Различают односопловые реактивные горелки с поступательно-возвратным движением вдоль оси скважины и вращающиеся трёхсопловые. Оптимальная частота вращения 15-30 об/мин, расстояние между срезом сопла горелки и забоем скважины 0,1-0,15 м. Охлаждение горелок осуществляется в основном водой, подаваемой в рубашку камеры сгорания, реже воздухом (горелка ТРВ). Тепловые потоки, создаваемые горелками, до 42 кДж/м²•ч, скорость струй 1800-2200 м/с, температура 1800-2000°С при окислении сжатым воздухом и до 3500°С

при окислении кислородом. Расход горючего 80-130 кг/ч, воды 3,5 м³/ч, давление воздуха 600-800 кПа.

На рисунке 2 показана медная реактивная горелка со стальным кожухом, которая крепится к трубчатой штанге. По штанге в кожух горелки подается вода для охлаждения. По двум трубкам, проходящим внутри штанги, к горелке поступает кислород под давлением 15–20 ат и керосин под давлением 8–12 ат. В камеру сгорания вводится смесь кислорода и тонкораспыленного керосина. При сгорании этой смеси под давлением 20–40 ат в реактивной горелке развивается температура до 3500° С.

Разрушение породы на забое скважины под действием огнеструйной горелки происходит в результате сложного взаимодействия сверхзвуковых раскалённых струй и воды с разрушаемой породой. Хорошо подвергаются термическому разрушению породы, имеющие ярко выраженную кристаллическую структуру с плотным цементом, массивной структурой, отсутствием или незначительным количеством низкоплавких минералов, глинистых включений. Продукты разрушения породы удаляются из скважины восходящим газовым потоком, образуемым из смеси продуктов сгорания и паров воды, которая вентилятором выбрасывается в атмосферу. Конструкция станков, используемых для термического бурения, определяется их назначением и видом применяемого окислителя.

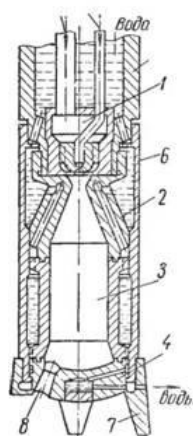


Рисунок 2 – Схема трёхсопловой реактивной горелки: 1 – форсунка; 2 – корпус горелки; 3 – камера сгорания; 4 – головка горелки; 5 – переходник; 6 – кожух; 7 – башмак; 8 – сопло

Термическое бурение предложено в конце 40-х гг. в США, в СССР применяется с середины 50-х гг. главным образом для бурения скважин в железистых кварцитах на железорудных карьерах. С середины 70-х гг. термическое бурение используется в основном для термического расширения (с 250 мм до 500 мм) нижней заряжаемой части взрывных скважин, что на порядок увеличивает эффективность термического бурения, позволяет использовать его в более широком диапазоне пород, увеличивает вдвое сетку взрывных скважин и выход породы

В настоящее время при бурении нефтяных и газовых скважин данный метод не применяют.

2.2.1.3 Лазерный способ

Механизм разрушения горной породы лазерным лучом необычен, весьма разнообразен и зависит от плотности энергии импульса. При небольшой плотности поглощенное оптическое излучение вызывает нагрев породы и разрушение ее плавлением. Иначе реагирует порода на воздействие мощного лазерного луча. Разрушение напоминает электрический пробой диэлектрика: после появления узкого канала пробоя возникает ударная волна.

Схемы лазерных буровых снарядов и принцип взаимодействия сфокусированного лазерного луча с горной породой представлены на рисунке 3. Лазерный буровой инструмент не имеет механического контакта с горной породой и поэтому его износостойкость теоретически не ограничена. В этом состоит одно из главных преимуществ лазерного бурения. Для лазерного луча твердость горной породы не имеет какого-либо существенного значения (решающее отличие от всех механических способов бурения). Зато приходится считаться с тугоплавкостью отдельных горных пород или минеральных включений, например графита, асбеста и др. Все эти минералы обладают весьма низкой микротвердостью и для обычного бурения считаются легкобуримыми породами. В настоящее время возможно производство газовых лазеров непрерывного действия с выходной мощностью 100 кВт и выше. Коэффициент полезного действия газовых лазеров может достигать 20–60 %. Одной из основных проблем в

конкурентоспособности лазерного бурения – это высокие энергозатраты при бурении глубоких скважин. При решении этой проблемы способ бурения лазером будет явно превосходить механические способы бурения по многим показателям [54-56].

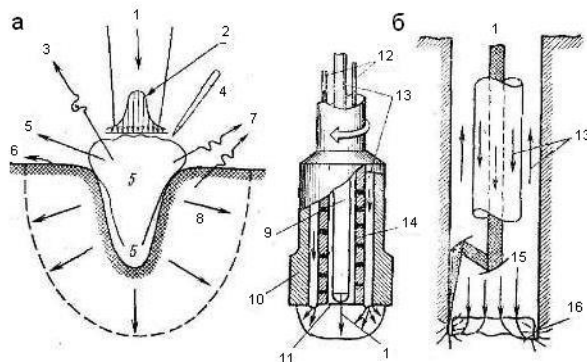


Рисунок 3 – Взаимодействие сфокусированного лазерного луча с горной породой (а) и схемы лазерных буровых снарядов (б):

1 – лазерный луч; 2 – распределение интенсивности луча; 3 – отраженная энергия; 4 – струя газов; 5 – удаляемые пары и расплавленная порода; 6, 7 – потери тепла конвекцией и излучением; 8 – зона нагрева; 9 – кристаллический или газовый лазер; 10 – расширитель; 11 – линза; 12 – кабели; 13 – промывочная жидкость или газ; 14 – отражающая поверхность; 15 – нагрузка на долото; 16 – периферийная канавка, прорезанная лазерным лучом

На сегодняшний день семь типов лазеров являются перспективными для использования в бурении нефтяных и скважин [57-58]:

- 1) Лазер на фториде водорода и фториде дейтерия;
- 2) Химический кислородно-иодный лазер;
- 3) Углекислотный лазер;
- 4) Углекислотный лазер;
- 5) Лазер на свободных электронах;
- 6) Nd:YAG (Иттрий-алюминиевый гранат легированный неодимом);
- 7) Лазер на фториде криптона (Лазер на KrF).

Большинство исследований в области лазерного бурения сосредоточено исключительно на использовании лазера для испарения породы. Эти методы, как предполагается, имеют различные преимущества по сравнению с

используемыми в настоящее время методами вращательного бурения, которые включают в себя [59]:

- 1) Потенциальное увеличение скорости проходки;
- 2) Обеспечение временной обсадной колонны;
- 3) Увеличение срока службы породоразрушающих инструментов;
- 4) Меньшая зависимость от таких параметров, как нагрузка на долото, скорость циркуляции бурового раствора, скорость вращения и конструкция долота;
- 5) Точность бурения, т.к. лазер является источником когерентного электромагнитного излучения высокой направленности;
- 6) Обеспечение расширенных возможностей управления скважиной;
- 7) Бурение монодиаметром;
- 8) Достижение целей экологической безопасности, и экономически эффективных показателей;

Основным недостатком лазерного бурения является высокое энергопотребление. Потребляемая мощность и эффективность любого конкретного лазера будут варьироваться в зависимости от выходной мощности и рабочих параметров. Это будет зависеть от типа лазера и от того, насколько хорошо лазер соответствует выполняемой работе. Требуемая мощность для лазерного бурения, зависит от типа разбуриваемой породы, используемого процесса (реактивного/инертного) и желаемой скорости бурения. К остальным недостаткам можно отнести:

- 1) Глубокие скважины, пробуренные лазером, в некоторой степени сужаются с глубиной;
- 2) Невозможно пробурить скважину на точную глубину.
- 3) Зависимость скорости бурения от требуемого диаметра;

Технология лазерного бурения потенциально может обеспечить более высокую скорость бурения, а правильно спроектированная лазерная система может сократить время установки и стоимость буровой установки, и как следствие самого бурения.

Лазерное разрушение горных пород является очень сложным процессом, и для реализации фактического внедрения лазеров в реальную систему бурения нефтяных и газовых скважин по-прежнему требуется большое количество исследовательских работ.

2.2.1.4 Плазменный способ

Нагрев пород с помощью плазменных генераторов является более эффективным средством получения высокой концентрации энергии в единице объема пород. Плазма – это смесь электронов, положительных ионов и возбужденных атомов, образованных в газе под воздействием электрического поля – возникает в плазменных генераторах – плазмотронах при прохождении электрического тока через газ (воздух, кислород, водород, аргон, гелий, неон, водяной пар, метан, пропан и др). Температура нагрева газов может достигать десятки тысяч °С.

Основным рабочим механизмом плазменного бурения служит электродуга, превращающая водяной пар в плазму, а конечным продуктом становится чистая конденсированная вода. Порода разрушается прямым высокотемпературным воздействием, поэтому ключевое отличие плазменного бурения от механического состоит в том, что определяющую роль начинают играть не механические (твердость, прочность на сжатие и т.п.), а термические характеристики породы (температура плавления, температура кипения, вязкость расплавленной породы, теплопроводность). Некоторые из наиболее сложно разбуриваемых механическим способом пород (базальт, гранит, андезит и т.п.) лучше всего поддаются высокотемпературному разрушению.

Бурение производится бесконтактным способом, а значит, проблемы износа бурового долота и передачи нагрузки на долото с преодолением трения колонны о стенки скважины не стоят вовсе. Вибрация, естественно, тоже отсутствует. В свою очередь, включение в плазменную компоновку низа бурильной колонны (КНБК) спектрометрической аппаратуры позволяет оперативно определять характеристики пород посредством анализа спектра их излучения.

С помощью плазмобура, схема которого изображена на рисунке 4, было пробурено различными исследователями и организациями несколько десятков скважин и шпуров [51].

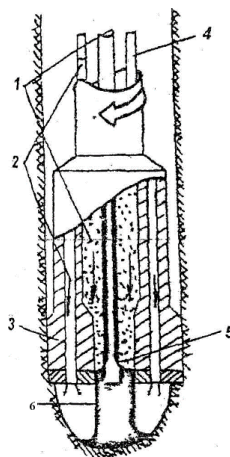


Рисунок 4 – Плазмобур: 1 – газ (гелий или аргон); 2 – промывочная жидкость; 3 – расширитель; 4 – плазма (10000-30000°); 5 – электрический кабель (постоянный ток); 6 – электрическая дуга

За рубежом также проводились работы по плазменному бурению.

Согласно докладу SPE 173016-MS “Utilization of Electrical Plasma for Hard Rock Drilling and Casing Milling” конференции по бурению Международной ассоциации буровых подрядчиков и Общества инженеров нефтегазовой промышленности (IADC/SPE), проведенной в марте 2015 года в Лондоне, уже разработан прототип плазменной буровой установки, рисунок 5.



Рисунок 5 – Прототип скважинного плазменного инструмента

Конструкция обеспечивает максимальную передачу поверхности породы температуры электродуги в десятки тысяч градусов Кельвина, тогда как разделяющая их струя газа нагревается минимально. Еще одно важное отличие состоит

в том, что плазменная КНБК за счет спиральной формы дуги создает относительно гомогенную широкую зону обработки породы, в отличие от узконаправленной струи плазмы стандартных резаков, рисунок 6.



Рисунок 6 – Узконаправленный поток плазмы стандартного плазменного резака (слева) в сравнении с широкой зоной обработки инновационного инструмента (справа)

Наконец, работающая на водяном паре плазменная установка также обладает электрогидравлическим эффектом – создает волны давления, способствующие разрушению породы и удалению дезинтегрированного материала.

В зависимости от создаваемой установкой температуры воздействия, преимущественно задействуется один из трех механизмов разрушения породы – раскалывание, расплавление или испарение. Какой из этих механизмов будет предпочтителен в каждом конкретном случае, определяют термические свойства породы, которые, в свою очередь, анализируются в режиме реального времени по данным спектроскопии.

К настоящему времени авторы уже успели испытать технологию на породах различных типов, включая известняк, песчаник, галиты и гранит. Так, например, температура кипения галита (NaCl) относительно низка (1686 К), и поэтому самым эффективным механизмом его плазменного разрушения будет испарение. В то же время кварцит проще разрушать по методу раскалывания в силу высокого внутреннего напряжения этой породы. Разрушающее воздействие в данном случае оказывают импульсы давления частотой в несколько наносекунд.

Авторы провели испытания прототипа скважинной установки диаметром порядка 100 мм на полигоне в Словакии, рисунок 7 [52].



Рисунок 7 – Опытная установка на полигоне близ поселка Крнча в Словакии

Технология импульсной плазмы не плавит породу, а использует очень короткие импульсы высокой энергии с высокой частотой для резкого увеличения температура поверхности породы, которая разрушает поверхность при контакте с плазмой. Поскольку процесс очень быстрый, не хватает времени для расплава породы, которая в свою очередь может становиться вязкой и как результат трудно удаляемой с забоя, что может препятствовать дальнейшему разрушению.

КНБК спроектирована таким образом, чтобы эффективно работать в условиях высокого давления и высокой температуры, в основном благодаря использованию технологии передовых материалов в сочетании с охлаждающими линиями внутри ПРИ. Большинство деталей находятся в жидкости, т. к. необходимо поддержание превышения забойного давления над пластовым. Только специальная электроника заключена в защитные камеры высокого давления, чтобы увеличить их срок службы.

Горная порода разрушается пульсирующей плазмой на крошечные обломки, показанные в качестве примера на рисунке 8 (масштаб в сантиметрах). Поскольку инструмент не плавит и не испаряет породу, потребности в энергии намного ниже, чем у других новых концепций бурения на основе тепла.



Рисунок 8 – Шлам от импульсного плазменного бурения

Контур циркуляции жидкости обычный - шлам собирается циркулирующим буровым раствором и выносится на поверхность.

Основываясь на обширной экспериментальной работе, проведенной на 23 типах горных пород, были определены рабочие показатели для всех пород. Основываясь на этой работе, разработаны параметры работы ПРИ, при поддержании которых, можно пробурить многие типы горных пород, поэтому нет необходимости изменять параметры во время бурения при прохождении различных типов пород [84].

Прототипы, использованные в тестировании, потребляли около 200 кВт. Для полномасштабного коммерческого продукта, вероятно, потребуется около 500 кВт. При скорости проходки 10 м/час устройство потребляет 50 кВтч на один пробуренный метр. Для работы плазмобура также требуется плазмообразующая среда (около 1 л/мин), охлаждающая жидкость (около 50 л/мин) и буровой раствор (около 3000 л/мин). Буровой раствор циркулирует в течение всего периода бурения, а затем фильтруется/перерабатывается и используется повторно [84].

Преимущества технологии:

1) Более высокая скорость: в 2-3 раза более высокая скорость проходки в фундаментных образованиях, таких как гранит, гнейс и т.д., чем у обычного механического бурения.

2) Для начала бурения не требуется никакой нагрузки на долото и не требуется вращения; следовательно, инструмент менее подвержен механическому износу.

3) Сокращение времени СПО: установка для плазменного бурения осуществляется через колтюбинг (ГНКТ).

4) Непрерывная циркуляция во время бурения, предотвращающая зашламление выбуренной породой.

5) Существенное снижение шума и вибраций: положительный фактор для работающего персонала.

6) Принцип плазменного бурения позволяет значительно увеличить срок службы бурового ПРИ по сравнению с обычными методами механического бурения, широко используемыми сегодня.

2.2.1.5 Термомеханический способ

Согласно патенту РФ 2416708 от 09.04.2009 г. при бурении твердых горных пород их разрушение осуществляют путем воздействия лазерным лучом, который фокусируют на забой скважины по периметру забоя, разупрочняя нагретом приповерхностный слой породы, после чего отделяют от забоя разупрочненный слой термостойкими резцами при вращении буровой коронки и удаляют с забоя. Разупрочнение происходит за счет термических напряжений, возникающих при быстром нагреве поверхности забоя. В патенте РФ 2436926 от 12.02.2010 г. при бурении твердых горных пород разупрочнение слоев твердых горных пород забоя осуществляют путем воздействия на него лазерным излучением, транспортируемым на забой скважины по волоконно-оптическому кабелю, который соединяет съемник лазерного излучения с цилиндрической буровой коронкой. Кабель располагают и закрепляют на колонковой трубе до цилиндрической буровой коронки, то есть облучают поверхность забоя также по его периметру при вращении коронки. Разупрочнение слоя твердых горных пород забоя происходит за счет термических напряжений, возникающих при быстром нагреве материала забоя. [62].

В 2009 году Агентство перспективных исследовательских проектов по энергетике (ARPA-E) объявило о выделении гранта на сумму 9,14 миллиона долларов США на разработку технологии низкоконтakтного бурения. Фирма Fogo

Energy, базирующаяся в Хьюстоне, штат Техас, успешно продемонстрировала своими инновациями, что мощность лазера мощностью 20 кВт, подаваемая через специальное оптическое волокно, может пробурить даже твердую породу.

Весь процесс комбинированного бурения имеет огромное значение для нефтегазовой промышленности, поскольку эта новейшая гибридная лазерно-механическая технология может значительно снизить энергозатраты на бурение. В то время как обычные механические способы требуют мощности около 2000 л. с. (1,5 МВт), гибридная технология может выполнить ту же задачу с 10 л. с. (7,5 кВт), что является невообразимым на данный момент. С применением лазерного бурения компании могут существенно сократить время и мощность, затрачиваемые на проведение геологоразведочных работ на нефть и газ, а также сократить связанные с этим расходы [60].

Данный принцип использует преимущества основных механизмов разрушения горных пород, таких как термическое разрушение, испарение, плавление, химические реакции и механические напряжения. Было замечено, что при увеличении интенсивности лазерного луча в породе могут наблюдаться различные изменения, такие как фазовые изменения, обезвоживание глин, выделение газов и термические напряжения.

Рамона Грейвс, профессор Горной школы Колорадо, продемонстрировала значительный потенциал лазерного бурения, используя передовой химический лазер с использованием мощного диодного лазера для бурения горных пород. Коммерческое развитие этого процесса идет полным ходом и, в случае успеха, имеет потенциал для преобразования нефтегазовой отрасли в лучшую сторону. Портативная установка для бурения нефтяных скважин включает в себя волоконный лазер мощностью 20 кВт и волоконно-оптический кабель с низкими потерями. Когда свет высокой мощности в 1070 нм опускается в скважину, он разрушает породу и позволяет даже маломощному механическому воздействию удалять горные породы. Было подсчитано, что эта технология может сократить мощность, необходимую для бурения, до 90% [61].

2.2.1.6 Электротермо-механический способ

При данном способе в сухую скважину спускают электротермобур, состоящий из концентрических труб и стержня, выполненных из электропроводного металла, и осуществляют бурение за счет высокой температуры вольтовой дуги, достаточной для того, чтобы прожигать каменный уголь и слюду, проплавливать песок, базальт, диабаз, кварц, разлагать воду и нефть на горючие газы и кислород.

Способ осуществляется устройством, изображенным на рисунке 9, включающим головку 1, имеющую на наружной параболической поверхности винтовую нарезку 2 и цилиндрическую часть 3. Устройство снабжено дополнительным теплоизолятором 6 и магнитным кристаллизатором 5. При этом дополнительный теплоизолятор размещен над цилиндрической частью 3 устройства, а кристаллизатор - над дополнительным теплоизолятором. Головка 1 имеет параболическую рабочую поверхность с режущей кромкой на винтовой нарезке. На наружных поверхностях цилиндрической части и дополнительного теплоизолятора выполнены калибрующие ребра 4 в виде многозаходного винта. Высота цилиндрической части больше высоты головки, над рабочей головкой пакета размещены теплоизолирующие прокладки.

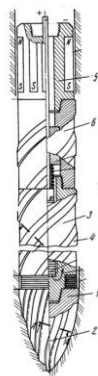


Рисунок 9 – Электротермобур

Указанный способ имеет недостаток, заключающийся в том, что расплав, вытесняемый газовым давлением, быстро остывает и, охлаждаясь, прилипает к трубе и стенкам скважины, что ведет к аварийной ситуации (прихвату).

Внешняя труба не калибрует ствол скважины и не оказывает механического воздействия на стенки. Зазор, который существует между внешней трубой - электродом и стенкой скважины, дает возможность нагретой до плавления породе вспучиваться. Вспучивание породы нарушает геометрию круга ствола и уменьшает его диаметр, что может стать причиной прихвата. [53].

На сегодняшний день электротермическое бурение применяется в условиях Антарктиды для расплавления льда электронагревателями. Электротермобур приспособлен для бурения скважины во льду глубиной до 1000 м и диаметром до 300 мм. Мощность нагревателя до 8 кВт. Снаряд имеет насос для откачки воды, образующейся при расплавлении льда.

2.2.2 Электрофизические способы разрушения горных пород

Электрофизические способы бурения объединяют группу методов, в основе которых лежит применение электрического тока для прямого разрушения горных пород.

Начало развития электрофизических способов было положено Российскими учеными в 1949 году, когда появились идеи использования электромагнитных полей для разработки способов разрушения горных пород. В 1955 году исследования электрофизических способов привели к идее разрушении крепких пород с использованием физического явления высоко частного теплового пробоя породы. В результате были возданы образцы оборудования для разрушения негабаритных блоков [72].

Сегодня выделяют 2 наиболее перспективных способа:

- Ультразвуковой;
- Электрогидравлический;
- Электроимпульсный;
- Электроимпульсно-механический.

2.2.2.1 Ультразвуковой способ

Разрушение материалов ультразвуком широко используется в промышленности при резании, сверлении и долблении. Для нужд металлообработки

серийно выпускаются универсальные ультразвуковые станки. Эксперименты подтвердили возможность использования ультразвука для разрушения горных пород в бурении. Для получения ультразвуковых колебаний используются механические, газоструйные, жидкостные, термические, электродинамические, электростатические, магнитострикционные и пьезоэлектрические излучатели ультразвука.

Обычно ультразвуковые колебания (с частотой > 20 кГц), получают при помощи магнитострикционного излучателя, рисунок 10, который состоит из пластинчатого никелевого сердечника с электрической обмоткой, питаемой током высокой частоты.

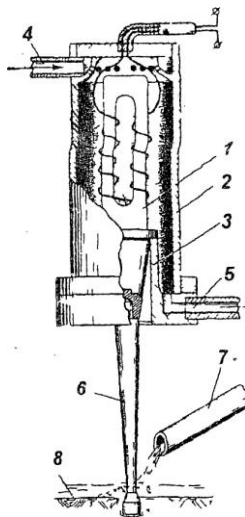


Рисунок 10 – Схема прибора для ультразвукового бурения: 1 – никелевый сердечник с обмоткой, 2 – цилиндр водяной рубашки, 3 – опорная гильза, 4 – вход охлаждающей жидкости, 5 – выход охлаждающей жидкости, 6 – концентратор с инструментом, 7 – подвод суспензии с абразивом, 8 – разрушаемый объект

Под влиянием переменного магнитного поля сердечник попеременно сжимается или растягивается, создавая колебания заданной частоты с амплитудой в несколько микрон. Для увеличения амплитуды применяют металлические концентраторы специальной формы.

При подведении к излучателю мощности до 90 Вт плотность энергии в середине фокального пятна в воде может достигнуть 5000 Вт/см², что соответствует давлению в 12 МПа.

Обычно в суспензию добавляют абразивные частицы для более активного разрушения пород. Опытное бурение показало, что в диапазоне 8-20 кГц мощность установки составляла 500Вт, механическая скорость по граниту 2–4мм/мин, рабочий инструмент – стальная труба диаметром 20 мм, рисунок 11 [73].

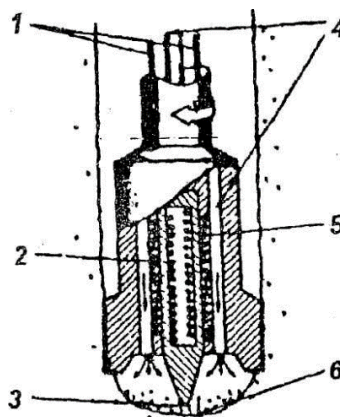


Рисунок 11 – Ультразвуковой породоразрушающий инструмент:

- 1 – электрический кабель, 2 – магнитострикторный сердечник,
3 – излучатель, 4 – промывочная жидкость, 5 – спираль, 6 – абразив

Исследования показали, что существующая аппаратура не позволяет при ультразвуковых частотах получить большие амплитудные смещения с достаточной энергией единичного импульса, поэтому использование ультразвука для разрушения пород при бурении на данном этапе посчитали неперспективным.

2.2.2.2 Электрогидравлический способ

Электрогидравлическое бурение основано на разрушении горной породы в заполненном водой забое скважины гидравлическим ударом, создаваемым разрядом тока высокого напряжения (до 200 кВ). Впервые разработано в СССР Л. В. Юткиным в 50-х годах прошлого столетия. Бур выполнен в виде невращающегося трубчатого и вращающегося центрального электродов, к которым с поверхности подаются с заданной частотой импульсы тока высокого напряжения, в результате чего происходит электрический пробой межэлектродного промежутка по воде. Расширяющаяся газовая полость пробоя создаёт гидравлический удар жидкости, в результате которого происходит разрушение породы на забое.

Данный способ не нашел практического применения в отрасли.

2.2.2.3 Электроимпульсный способ

Электроимпульсный (ЭИ) способ основан на разрушении горной породы мощным электрическим разрядом (пробоем) высокого напряжения, происходящим в приповерхностной зоне забоя скважины, заполненной жидким диэлектриком (трансформаторное масло).

Данный метод начал разрабатываться еще в 40-х годах XX века, а окончание этапа его разработки относится к 60-м годам. Это явление открыто А.А. Воробьевым в Томском политехническом университете [67–71].

Суть метода заключается в том, что при бурении электроды прижимаются к забою, а центральный электрод вращается, обеспечивая создание последовательных электрических импульсов-пробоев с определенной частотой по всей площади скважины. Схема установки для бурения с прямой циркуляцией промывочной жидкости представлена на рисунке 12.

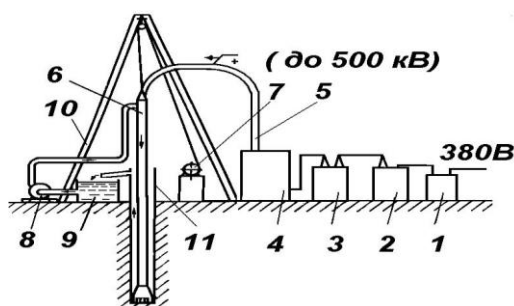


Рисунок 12 – Схема установки для бурения с прямой циркуляцией промывочной жидкости:

1 – высоковольтный трансформатор; 2 – выпрямитель; 3 – дроссель; 4 – генератор импульсных напряжений; 5 – высоковольтный токоподвод; 6 – буровой снаряд; 7 – лебедка; 8 – буровой насос; 9 – бак с промывочной жидкостью; 10 – вышка; 11 – направляющая обсадная труба.

Упрощенная технологическая схема ЭИ бурения скважин включает источник высокого импульсного напряжения (ГИН), буровой снаряд, спускоподъемное устройство, систему промывки скважины. Общий вид бурового снаряда представлены на рисунке 14. Главными элементами его являются буровой наконечник 1, колонна бурильных труб 2, высоковольтный ввод 3. Передача импульсов высокого напряжения от ГИН к буровому наконечнику осуществляется через высоковольтный ввод 3 по центральному токопроводу, расположенному

коаксиально в колонне бурильных труб, который зафиксирован внутри колонны с помощью изоляторов.

Буровой наконечник, изображенный на рисунке 13, выполнен в виде кольцевого зубчатого и центрального электродов. Он состоит из совокупности высоковольтных и заземленных электродов, объединенных в единую конструкцию, но электрически изолированных друг от друга изолятором.

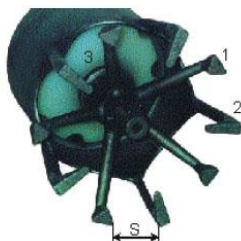


Рисунок 13 – Буровой наконечник диаметром 270 мм:

1 – высоковольтный электрод; 2 – заземленный электрод; 3 – изолятор бурового наконечника; S – расстояние между электродами



Рисунок 14 – Общий вид бурового снаряда:

1 – буровой наконечник диаметром 270 мм; 2 – буровые трубы диаметром 200 мм; 3 – высоковольтный ввод

Горная порода разрушается за счёт напряжений, возникающих в ней при электрическом пробое. Эффективность бурения не зависит от крепости пород и глубины скважины и определяется параметрами электрического пробоя и условиями удаления продуктов разрушения. Скорость бурения до 6 – 10 м/ч. Область

применения – нисходящие скважины в плотных горных породах, обладающих высоким электрическим сопротивлением и не поглощающих циркулирующий в скважине жидкий диэлектрик.

Удаление из зоны забоя продуктов разрушения обеспечивается за счет циркуляции жидкости, однако при использовании электроимпульсной технологии применяемая жидкость должна отвечать особым требованиям к своему составу. Для обеспечения возможности воздействия забой скважины должен быть заполнен диэлектриком, который может представлять собой, например, масло или дизельное топливо. При этом электроимпульсное бурение скважин возможно лишь в скважинах, где отсутствуют зоны поглощения.

Эффективность ЭИ разрушения пород главным образом определяется их электрофизическими, а не прочностными свойствами, а потому становится особенно выигрышной в сравнении с механическими способами в случаях разрушения прочных и особо прочных пород. По электрической прочности горные породы отличаются не столь значительно, как по механической, и практически допустимо говорить о малой зависимости ЭИ разрушения от крепости горных пород. ЭИ способом могут быть разрушены практически все горные породы, что тоже является преимуществом [66].

Ключевыми преимуществами электроимпульсного бурения скважин являются его высокая эффективность (которая не зависит от показателя крепости буримой породы или глубины скважины), низкий показатель износа породоразрушающего инструмента, а также меньшее по сравнению с механическими методами количество проводимых спускоподъемных операций.

2.2.2.4 Электроимпульсно-механический способ

Известно, что ЭИ бурение горных пород осуществляется неподвижной многоэлектродной системой, что исключает применение других способов разрушения, в частности механических.

На сегодняшний день реализовано резание горных пород непрерывно перемещающейся двухэлектродной системой, что позволило в буровом наконечнике размещать устройства для механического разрушения горной породы [63].

При этом возможно бурение сплошным забоем и с получением керна. Предполагается, что вследствие развитого трещинообразования и большой шероховатости забоя после ЭИ разрушения будет значительно облегчено механическое разрушение.

Исследования проводились на лабораторной установке, которая позволяла вращать буровой наконечник с заданной скоростью, изменять силу давления на наконечник в диапазоне $0 \div 8000$ Н, осуществлять промывку скважины. Общий вид бурового наконечника представлен на рисунке 15. Для ЭИ разрушения применялся генератор импульсных напряжений (ГИН) с номинальным напряжением 240 кВ, что позволяло реализовать расстояние между электродами $S=20$ мм.

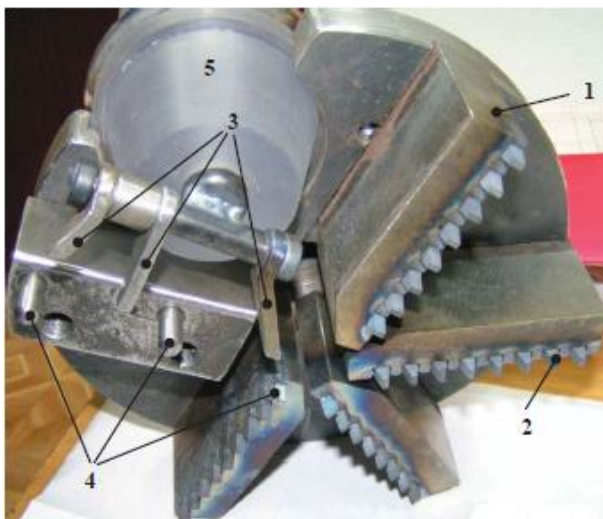


Рисунок 15 – Буровой наконечник

1 – держатель, 2 – резцы, 3 – высоковольтные электроды,
4 – заземленные электроды, 5 – высоковольтный ввод

Роль механического бурения в комбинированном способе существенна, а его вклад будет зависеть от величины давления. Кроме этого, степень разрушения поверхности и глубина разрушения забоя образца зависит от количества воздействующих импульсов (затраченной энергии), что также будет влиять на эффективность механического резания [64].

Полученные результаты в результате произведенных опытов, показали, что совместное воздействие электроимпульсного и механического способов значительно увеличивает глубину и производительность бурения по сравнению с

механическим. Эффективность ЭИ и комбинированного разрядно-механического бурения в значительно меньшей степени зависит от крепости горных пород по сравнению с механическим способом [65].

2.2.3 Гидродинамические способы разрушения горных пород

При гидродинамическом бурении разрушение горной породы осуществляется высоконапорной струей жидкости путем разрушения или растворения породы на забое. Эффективность разрушения горной породы высоконапорными струями в большинстве случаев связывают с пределом прочности породы при одноосном сжатии.

По признаку силового воздействия на забой, можно выделить 2 способа гидродинамического разрушения горных пород:

- Гидромониторное (эрозионное);
- Абразивно-ударное.

2.2.3.1 Гидромониторный способ

При гидромониторном способе разрушение горных пород происходит в результате создания нормальных давлений при контакте высоконапорной струи с забоем за счет гидравлического удара и касательных напряжений, вызываемых радиальным течением жидкости. Помимо этого, для эрозионного способа характерно растворение породы в промывочной жидкости. По характеру подачи и мощности струи также можно выделить гидроимпульсный и гидроударный эрозионные способы.

Основными преимуществами гидромониторного бурения являются:

- простота конструкции породоразрушающего инструмента (ПРИ),
- отсутствие быстроизнашивающихся элементов;
- отсутствие необходимости в создании высоких осевых нагрузок на ПРИ;
- возможность бурения с малой частотой вращения ПРИ (а также без вращения).

Однако данный способ является очень энергоемким. Так, для эффективного разрушения забоя эрозионным способом необходимы высокие скорости жидкости (200–1000 м/с), а также, соответственно, высокие давления – не ниже 80–400 МПа. Таким образом, для его реализации необходим целый комплекс высоконапорного оборудования (насосов, вертлюгов, бурильных труб, уплотнений и др.) [74-77].

2.2.3.2 Абразивно-ударный и гидромониторно-ударный способы

Сущность абразивно-ударных способов заключается в разрушении пород высоконапорной струей жидкости, содержащей во взвешенном состоянии породоразрушающие частицы. В качестве абразива используют кварцевый или корундовый песок, стальные опилки и пр. Также выделяют гидромониторно-ударный способ, отличие которого заключается в том, что в качестве абразива используются металлические шары, сечка и пр. По существующим представлениям разрушение горной породы при этом осуществляется за счет ее многократной деформации при ударе абразива о забой, а также посредством микрорезания при воздействии частиц, движущихся по направлениям, касательным к поверхности горной породы. Данный способ весьма эффективен в абразивных породах. Помимо этого, абразивно ударный способ сохраняет преимущества, присущие гидромониторному способу, а также необходимы меньшие скорости жидкости (100–200 м/с) [78–81].

Существенными недостатками способа являются:

- повышенный износ насосного оборудования, циркуляционной системы и сопловых насадок ПРИ;
- необходимость в большом количестве абразивных частиц (до 200 тонн для бурения глубокой скважины);
- большая вероятность прихвата бурильной колонны при внезапной остановке циркуляции промывочной жидкости;
- невозможность бурения в пластичных несцементированных горных породах.

2.2.3.3 Комбинированные гидродинамические и механические способы

Водяная струя частично разрушает и размягчает породу забоя, ствол скважины формируется долотом, имеющим гидромониторные насадки, увеличивающие скорость вылета струи.

В практике бурения намеренно прибегают к комбинации различных способов РГП, что обычно повышает их эффективность, расширяет область применения. При этом один из способов является основным (ведущим). Можно выделить группу комбинированных способов РГП, в которых сочетается механический способ с эрозионным или абразивным, что обеспечивает рост эффективности разрушения горных пород без увеличения мощности бурового оборудования.

Механоэрозионный и механоабразивный способы реализуются в самом распространенном сегодня гидромониторно-вращательном способе РГП. При бурении механоэрозионным способом, который реализуется в гидромониторных долотах, разрушение струей воды носит вспомогательный характер и эффективно лишь в мягких горных породах. Примером реализации механоабразивного способа является бурение гидромониторными долотами с использованием жидкости с абразивом либо шламом для интенсификации процесса разрушения.

Эрозионномеханический и абразивномеханический способы РГП реализуются в конструкциях долот для гидромониторного и гидромониторно-эрозионного бурения. Существенным недостатком долот, реализующих эрозионный и абразивный способы РГП, является формирование криволинейной формы забоя, который снижает механическую скорость бурения или приводит к остановке процесса углубки скважины. Поэтому использование породоразрушающих элементов долота, реализующих механическое воздействие, повышает их эффективность [82].

Шароструйный способ разрушения горных пород заключается в разрушении горных пород ударами высокоскоростных шаров, непрерывно циркулирующих в призабойной зоне скважины. Способ разрушения горных пород ударами

шаров был предложен в 1955 г. группой ученых американской нефтяной компании «Картер Ойл К°».

На рисунке 16 представлена базовая конструкция шароструйного снаряда, названная «гравитационно-инжекционной», т.к. ввод шаров в камеру смешения осуществляется за счет сил тяжести и инъекции [83].

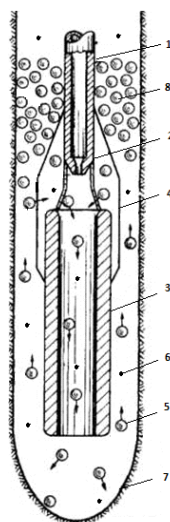


Рисунок 16 – Гравитационно-инжекционный шароструйный снаряд:
1 – колонна буровых труб; 2 – сопло; 3 – вторичное сопло; 4 – ребра;
5 – породоразрушающие шары; 6 – шлам выбуренной породы; 7 – горная порода; 8 – «облако резервных шаров»

Несмотря на то, что первые работы по исследованию шароструйного способа бурения были выполнены в середине XX века, до настоящего времени данный способ не получил широкого внедрения из-за недостаточного уровня его теоретической и экспериментальной проработки.

Преимущества шароструйного бурения:

- 1) возможность реализации на забое скважины большой мощности;
- 2) значительная продолжительность рейса, которая будет
- 3) ограничиваться лишь износостойкостью шароструйного аппарата, т.к. возможна замена износившихся шаров новыми;
- 4) простота конструкции шароструйного аппарата;
- 5) отсутствие необходимости в создании высоких осевых нагрузок на ПРИ;

б) возможность бурения с малой частотой вращения ПРИ (а также без вращения), что позволяет уменьшить износ бурильных труб, использовать легкосплавные бурильные трубы, а также проводить искусственное искривление ствола скважины.

К недостаткам можно отнести:

1) малое значение КПД шароструйного бурения, в связи с чем для эффективного разрушения крепких горных пород необходимо использование мощной насосной техники;

2) отсутствие экспериментально полученной информации об энергоемкости разрушения горных пород шароструйным способом;

3) нецелесообразность бурения в сильно трещиноватых, а также пластичных горных породах;

4) сложность конструкции и малое значение высоты отбираемого керна при бурении шароструйными бурильными головками;

5) сложность поддержания необходимого расстояния между долотом и забоем, а также диаметра скважины;

б) трудность выбора конструкции шароструйного аппарата для конкретных геологических условий бурения;

7) отсутствие единой методики расчета геометрических параметров шароструйных снарядов и технологических параметров режима бурения.

2.2.4 Химические способы разрушения

К химическим способам разрушения горных пород относятся растворение и горение.

Некоторые горные породы при воздействии воды на галеты (каменная соль) последний растворяется в воде, или при подземном выщелачивании урана урановую руду растворяют в серной кислоте и затем эту жидкость вместе с водой откачивают из скважины.

Некоторые горные породы за счет окислительно-восстановительной реакции, к чему относится и горение, разрушаются. Так, например, такие горные

породы как каменной и бурной угли, торф и горючие сланцы под действием огня горят и разрушаются.

Также при разрушении горной породы химическим способом используется специальный состав, называемый термитом, который выпускается в виде порошка или брикетов. Брикеты диаметром 30 мм, высотой 60 мм и массой около 100 г состоят из 95 г основного и 5 г воспламенительного состава. Основной состав включает алюминиевый порошок, металлическую окалину, бакелитовый лак. Причем оксиды железа должны содержать не менее 25% кислорода и 70% железа, а в алюминиевом порошке должно быть не менее 90% неокисленного алюминия. Воспламенительный состав, помимо вышеуказанных компонентов, содержит бариевую селитру. Разрушение горных пород происходит в результате нагрева породы при сгорании термита либо на поверхности породной отдельности. Наблюдения показали, что температура горения термита достигает 2500—3000° С и при этом выделяется до 2300—4600 кДж теплоты на 1 кг химического состава.

Химические способы разрушения горных пород при бурении скважин не применяются.

3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В современных экономических условиях ещё более актуальными стали вопросы, связанные с сокращением затрат на строительство скважин.

В этом разделе выпускной квалификационной работы проводится расчет целесообразности и экономичности использования конструкций долот PDC с усиленным антивибрационным вооружением.

3.1 Применение методических и технологических решений

Создание безопорных долот PDC позволило совершить настоящий прорыв в технологии бурения скважин, заключающийся в кратном росте проходки на долото по сравнению с трёхшарошечными долотами, увеличении механической скорости проходки, сокращении времени на спускоподъемные операции, уменьшении риска связанных с этим осложнений и улучшении качества ствола скважины. При бурении мягких и средних пород, представленных в геологическом разрезе большинства нефтегазовых месторождений России, долота PDC являются основным породоразрушающим инструментом. Средняя проходка на долота PDC в Западной Сибири составляет 10 000–15 000 м, механическая скорость проходки при бурении под кондуктор достигает более 100 м/ч, а под эксплуатационную колонну 50–75 м/ч.

В то же время, в части горно-геологических разрезов (Приволжский регион, Восточная Сибирь и др.), представленных средними по твердости слабоабразивными и твердыми среднеабразивными горными породами (далее – средние по твердости и твердые горные породы), основным типом породоразрушающего инструмента остаются долота шарошечного типа, т.к. при работе долотами PDC в данных условиях происходит интенсивный износ периферийного вооружения (на калибрующей части и заплечнике). Основной причиной износа алмазно-твердославных резцов является вибрация. Проходка на долото при этом не превышает 300–500 м. Относительно низкая проходка и высокая стоимость долот PDC снижают технико-экономические показатели бурения и не обеспечивают рентабельность их применения.

Интенсивное воздействие динамических факторов при работе бурильного инструмента приводит к неопределенности в оценке действующих нагрузок, что затрудняет выбор эффективных режимных параметров для разрушения горных пород. В этих условиях часто прибегают к ограничению параметров режимов бурения или чередованию разных типов долот в одном интервале бурения, что приводит к потерям времени на дополнительные спускоподъемные операции.

Современное развитие долотного производства все больше ориентируется на адаптацию долот PDC к эффективной работе в средних по твердости и твердых горных породах. Производителями долот PDC предлагается ряд конструктивных решений (опций) по усилению вооружения, основное назначение которых – снижение уровня вибрации на долоте.

На рисунке 17 приведен сравнительный пример отсутствия износа резца, усиленного антивибрационной вставкой, и износа резца без усиления антивибрационной вставкой долота, отработанного при бурении скважины на шельфе острова Сахалин.



Рисунок 17 – Отсутствие износа резца, усиленного антивибрационной вставкой, и износ резца без усиления антивибрационной вставкой долота

По результатам осмотра износа долот установлено, что поверхность посадочного гнезда у долот с усиленным антивибрационным вооружением

полностью прикрыта телом резца, корпусом и наплавочным материалом. Долота отработаны с незначительным износом периферийного вооружения, потребность в восстановительных работах отсутствует и, следовательно, подлежат дальнейшей эксплуатации. Таким образом, установлено, что долота с усиленным антивибрационным вооружением имеют больший срок службы, чем долота без усиленного антивибрационного вооружения.

В результате отработок двух шестилопастных долот PDC диаметром 215,9 мм конструкций I (без антивибрационных вставок) и двух шестилопастных долот PDC диаметром 215,9 мм конструкций II (с антивибрационными вставками) при строительстве скважин в интервалах под эксплуатационную колонну диаметром 168,3 мм (1400-2900 м) на Дулисьминском месторождении Иркутской области получены экспериментальные данные износа периферийных резцов долот в зависимости от времени механического бурения.

При детальном осмотре долота конструкции I отмечено повреждение поверхности посадочных гнезд, что требует дополнительной оценки на ремонтно-пригодность в части сохранения первоначальной направляющей базы для установки резца. Дальнейшая эксплуатация долот конструкции I не рекомендуется.

Время работы долот № 1 и № 2 конструкции I составило 84.0 ч и 82.9 ч соответственно. Среднее время работы двух долот конструкции I составило 83.5 часа.

Полученные средние значения степени износа долот № 3 и № 4 конструкции II свидетельствуют о нормальном износе вооружения.

Поверхность посадочного гнезда у долот № 3 и № 4 конструкции II полностью прикрыта телом резца, корпусом и наплавкой. Долота конструкции II отработаны с незначительным износом вооружения и подлежат дальнейшей эксплуатации на других скважинах. Время работы долот № 3 и № 4 конструкции II составило 84.3 ч и 83.9 ч соответственно. Среднее время механического бурения двух долот составило 84.1 часа.

Проведенный анализ экспериментальных исследований подтвердил, что долота конструкции II имеют меньший износ периферийного вооружения и обладают большим ресурсом.

Эффективность работы долот конструкций I и II оценим по технико-экономическим показателям: рейсовой скорости бурения и стоимости одного метра в заданном интервале проводки скважины.

3.1.1 Расчет для долота № 1 конструкции I (без антивибрационных вставок)

Определим среднюю проходку на долото по формуле 1:

$$h = \frac{H}{N} \quad (1)$$

где h – средняя проходка за рейс долота, м;

H – общая проходка на долото, м,

$H = 275,10$ м;

N – количество долот.

$h = 275,10$ м.

Общее время механического бурения:

$T_6 = 84,00$ ч.

Определим среднее время работы (стойкость) долота по формуле 2:

$$t_6 = \frac{T_6}{N} \quad (2)$$

где t_6 – среднее время механического бурения долотом, ч;

T_6 – общее время механического бурения долотом, ч.

$t_6 = 84,00$ ч.

Отмечено, что долото дальнейшей отработке не подлежит. Следовательно, ресурс долота составляет 84.00 ч.

Среднюю механическую скорость проходки определим по формуле 3:

$$V_M = \frac{h}{t_6} \quad (3)$$

$$V_M = \frac{275,10}{84,00}$$

$V_M = 3,28$ м/ч.

Определим рейсовую скорость бурения по формуле 4:

$$V_p = \frac{H}{T_6 + T_{сп}} \quad (4)$$

где $T_{сп}$ – время спускоподъемной операции, ч.

$$V_p = \frac{275,10}{84,00 + 16,00}$$

$$V_p = 2,75 \text{ м/ч.}$$

Стоимость долота составляет 1200000,00 руб.

Определим стоимость одного метра в заданном интервале проводки скважины по формуле 5:

$$C_m = \frac{B + R(T_6 + T_{сп}) + R_{ГЗД} \cdot T_6}{H}, \quad (5)$$

где B – суммарная стоимость всех долот, руб.;

R – стоимость часа работы буровой установки, руб/ч.;

$R_{ГЗД}$ – стоимость часа аренды ГЗД, руб/ч.

$$C_m = \frac{1200000,00 + 15500,00(84,00 + 16,00) + 5000,00 \cdot 84,00}{275,10}$$

$$C_m = 11523,08 \text{ руб/м.}$$

3.1.2 Расчет для долота № 2 конструкции I (без антивибрационных вставок)

$$H = 271,80 \text{ м.}$$

Определим среднюю проходку на долото по формуле 1:

$$h = 271,80 \text{ м.}$$

Общее время механического бурения:

$$T_6 = 82,90 \text{ ч.}$$

Определим среднее время работы (стойкость) долота по формуле 2:

$$t_6 = 82,90 \text{ ч.}$$

Отмечено, что долото дальнейшей отработке не подлежит. Следовательно, ресурс долота составляет 82.90 ч.

Среднюю механическую скорость проходки определим по формуле 3:

$$V_M = \frac{271,80}{82,90}$$

$$V_M = 3,28 \text{ м/ч.}$$

Определим рейсовую скорость бурения по формуле 4:

$$V_p = \frac{271,80}{82,90 + 15,80}$$

$$V_p = 2,75 \text{ м/ч.}$$

Стоимость долота составляет 1200000,00 руб.

Определим стоимость одного метра в заданном интервале проводки скважины по формуле 5:

$$C_M = \frac{1200000,00 + 15500,00(82,90 + 15,80) + 5000,00 \cdot 82,90}{271,80}$$

$$C_M = 11568,62 \text{ руб/м.}$$

3.1.3 Расчет для долота № 3 конструкции II (с антивибрационными вставками)

$$H = 356,40 \text{ м.}$$

Определим среднюю проходку на долото по формуле 1:

$$h = 356,40 \text{ м.}$$

Общее время механического бурения:

$$T_6 = 84,30 \text{ ч.}$$

Определим среднее время работы (стойкость) долота по формуле 2:

$$t_6 = 84,30 \text{ ч.}$$

Среднюю механическую скорость проходки определим по формуле 3:

$$V_M = \frac{356,40}{84,30}$$

$$V_M = 4,23 \text{ м/ч.}$$

Определим рейсовую скорость бурения по формуле 4:

$$V_p = \frac{356,40}{84,30 + 16,70}$$

$$V_p = 3,53 \text{ м/ч.}$$

Стоимость долота составляет 1220000,00 руб.

Определим стоимость одного метра в заданном интервале проводки скважины по формуле 5:

$$C_m = \frac{1200000,00 + 15500,00(84,30 + 16,70) + 5000,00 \cdot 84,30}{356,40}$$

$$C_m = 11568,62 \text{ руб/м.}$$

3.1.4 Расчет для долота № 4 конструкции II (с антивибрационными вставками)

$$H = 354,70 \text{ м.}$$

Определим среднюю проходку на долото по формуле 1:

$$h = 354,70 \text{ м.}$$

Общее время механического бурения:

$$T_6 = 83,90 \text{ ч.}$$

Определим среднее время работы (стойкость) долота по формуле 2:

$$t_6 = 83,90 \text{ ч.}$$

Среднюю механическую скорость проходки определим по формуле 3:

$$V_m = \frac{354,70}{83,90}$$

$$V_m = 4,23 \text{ м/ч.}$$

Определим рейсовую скорость бурения по формуле 4:

$$V_p = \frac{354,70}{83,90 + 16,50}$$

$$V_p = 4,23 \text{ м/ч.}$$

Стоимость долота составляет 1220000,00 руб.

Определим стоимость одного метра в заданном интервале проводки скважины по формуле 5:

$$C_m = \frac{1200000,00 + 15500,00(83,90 + 16,70) + 5000,00 \cdot 83,90}{354,70}$$

$$C_m = 9018,33 \text{ руб/м.}$$

Таблица 1 – Сравнение технико-экономических показателей

Конструкция долота	Показатели				
	Стоимость долота, руб.	Проходка, м	Время механического бурения, ч	Vp, м/ч	См, руб./м
I	1200000,00	275,10	84,00	2,75	11523,08
	1200000,00	271,80	82,90	2,75	11568,62
II	1220000,00	356,40	84,30	3,53	8998,32
	1220000,00	354,70	83,90	3,53	9018,33

Рейсовая скорость долот конструкции II увеличилась на 28 %; стоимость метра проходки снизилась на 22 %.

3.1.5 Расчет стоимости одного метра при отработке долота конструкции II до 100, 200, 300 ч на последующих скважинах (на примере долота № 3)

$$C_{м1} = \frac{1200000,00 + 15500,00(100,00 + 16,70) + 5000,00 \cdot 100,00}{423,00}$$

$$C_{м1} = 8342,43 \text{ руб./м}$$

$$C_{м2} = \frac{1200000,00 + 15500,00(200,00 + 16,70) + 5000,00 \cdot 200,00}{846,00}$$

$$C_{м2} = 6594,38 \text{ руб./м}$$

$$C_{м3} = \frac{1200000,00 + 15500,00(300,00 + 16,70) + 5000,00 \cdot 300,00}{1269,00}$$

$$C_{м3} = 6011,70 \text{ руб./м}$$

Результаты расчетов приведены в виде таблицы 2 и рисунка 23.

Таблица 2 – Техничко-экономические показатели при отработке долота конструкции II до 100, 200, 300 ч

Время механического бурения, ч	Проходка, м	См, руб./м
84,30	356,40	8998,32
100,00	423,00	8342,43
200,00	846,00	6594,38
300,00	1269,00	6011,70

Из таблицы 2 следует, что в результате возможной отработки долот конструкции II на последующих скважинах до ресурса 100, 200, 300 ч, сервисная

компания имеет возможность уменьшить стоимость метра проходки с 8998.32 до 8342.43, 6594.38, 6011.70 руб./м соответственно. Экономия затрат составит: 655.89, 2403.94 и 2986.62 руб./м соответственно.

Общая проходка на долота конструкции II может достигнуть 1269.00 м против 275.1 и 271.8 м на долота конструкции I. Для бурения тех же объемов метров потребовалось бы пять долот конструкции I.

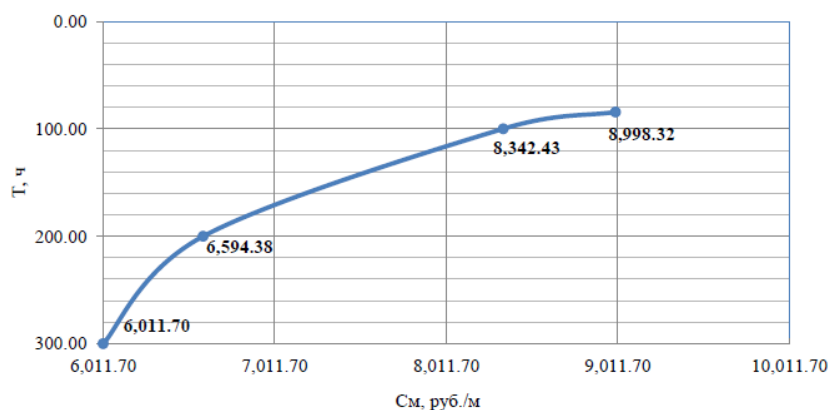


Рисунок 18 – Техничко-экономические показатели при отработке долота конструкции II до 100, 200, 300 ч

4. Социальная ответственность

Под социальной ответственностью понимают ответственность перед людьми и данными им обещаниями со стороны организации. Необходимо уделять внимание производственной и экологической безопасности, позволяющей минимизировать вредное воздействие на персонал и окружающую среду. Целью данной выпускной квалификационной работы студента является разработка рекомендаций к проектированию нефтяных и газовых скважин в сложных горно-геологических условиях.

4.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Законодательством РФ регулируются отношения между организацией и работниками, касающиеся оплаты труда, трудового распорядка, социальных отношений, особенности регулирования труда женщин, детей, людей с ограниченными способностями и др.

4.1.1. Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства

При осуществлении трудовой деятельности между работником и работодателем заключается трудовой договор, в котором прописываются обязанности сторон, ответственность, а также права работника. Документом, определяющим трудовые отношения между работником и работодателем, является трудовой кодекс.

Согласно Трудовому кодексу Российской Федерации, N 197-ФЗ каждый работник имеет право на:

- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
- обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в соответствии с федеральным законом;

Организация-работодатель выплачивает заработную плату работникам. Возможно удержание заработной платы только в случаях установленных ТК РФ

ст. 137. В случае задержки заработной платы более чем на 15 дней, работник имеет право приостановить работу, письменно уведомив работодателя.

4.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Работа буровой бригады выполняется стоя, рабочие места необходимо оборудовать в соответствии с ГОСТ 12.2.033-78 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования» [96].

Исключение составляют работы на буровых установках, оборудованных автоматизированным оборудованием, где место работы бурильщика оборудовано сиденьем. В таком случае рабочее место бурильщика должно оборудоваться в соответствии с ГОСТ 12.2.032-78 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования [96].

4.2 Производственная безопасность

4.2.1 Анализ вредных производственных факторов, обоснование мероприятий по защите персонала от их воздействия

В соответствии с действующими законами, постановлениями и положениями на месторождениях реализуются основные организационно-технические и технологические мероприятия, обеспечивающие безопасность жизнедеятельности, охрану недр и окружающей среды от возможных вредных воздействий, связанных с дальнейшей эксплуатацией месторождения.

Данные мероприятия предусматриваются:

- в лицензии на использование недр;
- в рабочих проектах на строительство скважин;
- в перспективных и годовых планах по охране окружающей среды производственных объединений и предприятий.

Основные возможные источники опасных и вредных факторов, характерных для бурения скважины, представлены в приложении Д, в таблице Д.1.

4.2.1.1 Анализ показателей климата и метеоусловий на открытом воздухе

Работы, связанные со строительством скважин, часто осуществляются на открытых площадках или в неотапливаемых помещениях. Температура воздуха и скорость ветра рабочей зоны, а также фактор их совместного воздействия оказывают непосредственное влияние на самочувствие человека и его работоспособность.

В большинстве регионов проведения буровых работ на территории Российской Федерации климат резко континентальный, поэтому согласно МР 2.2.7.2129-06 [99] можно определить допустимую продолжительность (ч) однократного пребывания и число перерывов для обогрева в смену на открытой территории для данного климатического региона в холодное время. Режимы труда и отдыха в холодное время года представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Режимы труда и отдыха в холодное время года

Температура воздуха, °С	Продолжительность пребывания на открытом воздухе, ч	Число перерывов для обогрева в смену
-30	3,4	6
-35	2,0	9
-40	1,4	9

К коллективным средствам защиты относится укрытие рабочей площадки, к средствам индивидуальной защиты в зимний период – комплект СИЗ X с теплоизоляцией (спецодежда, обувь, рукавицы, головной убор). При температуре ниже -40⁰С предусматривается защита лица и верхних дыхательных путей.

В летний период времени при проведении полевых работ и длительном пребывании человека на открытом воздухе существует большая вероятность получения солнечного удара. С целью профилактики перегревания организуют рациональный режим труда и отдыха путем сокращения рабочего времени для введения перерывов для отдыха в зонах с нормальным микроклиматом. К средствам индивидуальной защиты в летний период относятся головные уборы.

4.2.1.2 Повышенный уровень шума

Шум – это беспорядочное сочетание звуков различной частоты. Источником шума при бурении скважин и на месте строительства трубопровода

являются машины для производства земляных работ: буровая установка, бульдозер, экскаватор, вспомогательное оборудование.

Шум приводит к необратимым изменениям в органах слуха человека, увеличивает утомляемость, отрицательно сказывается на эмоциональном состоянии. Предельные допустимые значения шума регламентируются ГОСТ 12.1.003-83 [86]. Допустимые уровни звукового давления и эквивалентного уровня звука представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Допустимый уровень звукового давления и эквивалентного уровня звука

Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБА	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБА
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБА	108	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Уровень шума при работе буровой установки, а также вспомогательного оборудования обычно колеблется в диапазоне 95 до 114 дБ. В связи с этим для борьбы с шумом включают следующие мероприятия:

- использование средств и методов коллективной защиты;
- использование средств индивидуальной защиты (противошумные наушники, шлемы и каски).

4.2.1.3 Повышенный уровень вибрации

Источниками вибрации бурения являются: механизмы, машины, механизированный инструмент. В основе шума и вибрации лежит одно физическое явление - механические колебания, создаваемые при работе машин и механизмов из-за неуравновешенности вращающихся частей, трения и соударения деталей.

Длительное воздействие вибрации является раздражителем общебиологического действия, вызывающим общее заболевание организма человека и оказывающим влияние на периферическую и центральную нервную систему, сердечно-сосудистую систему и опорно-двигательный аппарат. Тяжелые и необратимые изменения, вызванные длительным воздействием вибраций,

превышающих допустимые уровни, являются признаком виброболести, тяжелые формы которой ведут к частичной или полной потере трудоспособности [101].

4.2.1.4 Повышенная загазованность воздуха рабочей среды

Для соблюдения требований ГОСТ 12.1005-88 [102] содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны не должно превышать предельно-допустимых концентраций (ПДК), указанных в таблице 5 [103].

Таблица 5 – ПДК вредных примесей в воздухе в рабочей зоне.

Наименование вещества	Величина ПДК _{рз} , мг/м ³	Наименование вещества	Величина ПДК _{рз} , мг/м ³
Выхлопные газы, в т.ч. содержащие:	-	Пары нефти, бензина	10
– Углеводороды	100	Сероводород	3
– Диоксид серы	10	Оксиды серы	10
– Диоксид углерода	9000	Меркаптаны	0,8

Мероприятия по устранению вредного воздействия включают в себя использование коллективных средств защиты (вентиляция) в соответствии с требованиями СНиП 2.04.05-91 [104]. При приготовлении бурового раствора необходимо использовать СИЗ (респираторы, очки и рукавицы) в соответствии с ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ [105].

4.2.1.5 Недостаточная освещённость

Нормы освещенности на буровой установке регулируются утвержденным приказом от 12.03.2013 г. №101 «Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности "Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности"» (далее ПБНГП) [106] и приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Требования к освещению производственного объекта.

Пространство	Освещенность, лк	Пространство	Освещенность, лк
Роторный стол	100	Лестницы, марши, сходы, приемный мост	10
Превенторная установка	75	Аварийное освещение для продолжения работ	2
Путь движения талевого блока	30	Аварийное освещение для эвакуации людей	0,5

Освещение постоянно во времени, без пульсации, имеет спектр, близкий к естественному. В целях предотвращения негативного воздействия

недостаточной освещенности на рабочем месте следует обеспечить своевременный контроль и замену неработающих ламп.

Недостаточная освещенность рабочего места является причинами: снижения продолжительности работы, повышенного утомления, развития близорукости.

4.2.1.6 Повреждения в результате контакта с живыми организмами

Наибольшую опасность на объекте представляют насекомые, как переносчики инфекционных заболеваний. К применению СИЗ относят использование специальной защитной одежды и репеллентных средств; к коллективным средствам защиты относятся оборудование и препараты для дезинсекции. Мероприятия проводятся в соответствии с Р 3.5.2.2487-09 [107].

4.2.1.7 Физические и нервно-психические перегрузки

Так как скважины могут иметь разную протяженность персоналу длительное время необходимо выполнять повседневную работу чему сопутствует тяжелый и напряженный физический труд. Физические и нервно-физические перегрузки влияют на самочувствие работника и могут привести к развитию разнообразных заболеваний.

4.2.2 Анализ опасных производственных факторов, обоснование мероприятий по их устранению.

Опасный производственный фактор - фактор способный стать причиной острого заболевания, резкого ухудшения здоровья или летального исхода.

При ведении буровых работ имеют место следующие опасные производственные факторы:

- движущиеся машины и механизмы, подвижные части производственного оборудования;
- электрический ток;
- расположение рабочего места на значительной высоте, падение предметов с высоты;
- пожаровзрывоопасность.

4.2.2.1 Движущиеся машины и механизмы, подвижные части производственного оборудования

Буровая установка и вспомогательное оборудование при бурении и строительстве скважин, могут являться причиной травмирования работников. Причем эти повреждения могут быть довольно серьезными для человека и могут привести к тяжелым телесным повреждениям и даже летальному исходу, а также материальным потерям.

Превентивные меры:

- монтаж ограждений по периметру работающего оборудования;
- применение работниками средств индивидуальной защиты;
- применение оборудования и установок, которые находятся в списке реестра используемых устройств организации. Движущиеся машины и механизмы как опасный фактор представлены в ГОСТ 12.0.003-74 [88].

Также множество несчастных случаев на производстве случается при производстве погрузочно-разгрузочных работ. Так как на буровой установке имеется кран-манипулятор для установки/снятия буровых труб с направляющей рамы. При выполнении погрузочно-разгрузочных работ запрещается:

- стоять под стрелой во время поднятия и перемещения грузов;
- поправлять стропы с поднятым грузом.

Во время выполнения работ по подъему, перемещению и укладке грузов следует следовать следующим правилам:

- работникам, не занятым данной работой, запрещено находиться в зоне выполнения такелажных работ;
- до подъема груз необходимо сначала поднять на высоту 20 - 30 см, чтобы убедиться в надежности строповки;
- недопустимо производить расстроповку груза, не удостоверившись в надежности закрепления груза в штабеле или на средстве передвижения.

4.2.2.2 Электрический ток

При работе на буровой установке высока вероятность повреждения персонала электрическим током, в частности во время бурения скважин методом

горизонтально направленного бурения. Безопасным напряжением для человека считается напряжение равное 12 В [109].

Основными источниками являются силовые шкафы, установленные на буровой установке, цепи управления вспомогательным оборудованием (насосная установка, контролирующая аппаратура). Некоторое вспомогательное оборудование требует высокой мощности, поэтому к нему подведено линейное напряжение 380 Вольт, данное напряжения опасно для жизни обслуживающего персонала [110].

Требования, предъявляемые к электробезопасности к электрическому и электронному оборудованию до 1000 В и номинальными частотами до 200 Гц изложены в ГОСТ 27487–87 «Электрооборудование производственных машин» [111].

Класс защиты от поражения электрическим током: 01 – Имеется только рабочая изоляция. Дополнительная изоляция металлических нетоковедущих частей не предусмотрена. Заземление металлических нетоковедущих частей обеспечивается присоединением специального провода к контуру заземления или непосредственным механическим контактом электрооборудования и контура заземления.

Защита от электрического тока подразделяется на коллективную и индивидуальную:

Коллективная защита включает:

- использование различных плакатов, знаков предупреждения персонала об опасности поражения электрическим током;
- изоляцию открытых зон токоведущих частей устройств и оборудования;
- использование заземления в соответствии с ГОСТ 12.1.030-81 [94].

Индивидуальная защита включает:

- использование работниками средств индивидуальной защиты (диэлектрические боты, перчатки);
- применение диэлектрических ковров при работах, которые связаны с монтажом, ремонтом, обслуживанием электроустановок и оборудования.

Производственные помещения буровой установки относятся к опасным и особо опасным помещениям в отношении опасности поражения электрическим током, так как помещения характеризуются наличием в них: сырости, токопроводящих полов и химически активной среды.

4.2.2.3 Расположение рабочего места на значительной высоте, падение предметов с высоты

Работы непосредственно на буровой установке ведутся на определенном расстоянии от земли, которое зависит от применяемой установки. Падение работников недопустимо. Для этого необходимо проводить ряд мероприятий:

- работы, проводимые на высоте, проводятся с применением страховочного троса;
- в соответствии с «Правилами безопасности нефтяной и газовой промышленности» рабочее место верхового оборудовано ограждениями высотой не менее 1 м.

Буровая вышка обеспечена маршевыми лестницами (угол падения их не более 60°, ширина 0,7 м). Пол сделан из рифленого металла, исключающего возможность скольжения [106].

Также, падение предметов является причиной множества потенциальных и фактических случаев со смертельным исходом, травм, ущерба имущества и потери целостности оборудования.

Предупреждение травматизма, связанного с падением предметов с высоты, достигается выполнением следующих мероприятий:

1. При эксплуатации грузоподъемных механизмов использование блокировок;
2. Лестницы на буровой имеют уклон не более 60°, с высотой перил 1 метр.
3. Использование средств индивидуальной защиты (каска, сапоги с металлическим подноском, защитные очки) [105].

4. Снижение до минимума количества одновременных работ на разных высотах, при невозможности обеспечения данного условия – обязательно оповестить старшего смены.

5. Недопущение захламления рабочего пространства.

6. Страховка ручного инструмента и любого подвесного оборудования.

4.2.2.4 Пожаровзрывоопасность

При бурении скважин существуют риск пожаровзрывообразования. Особенно высока эта вероятность при проведении огневых и газоопасных работ. При сварке, образовании искр, нагреве материалов до высоких температур возможно возгорание горючих материалов, находящихся в зоне проведения работ, или возгорание газовоздушной смеси при проведении газоопасных работ.

Основными факторами, увеличивающими риск пожаровзрывообразования, являются:

- нарушение технологии производства работ;
- отступление от проектного решения;
- умышленное повреждение оборудования и установок;
- нарушение правил пожарной безопасности и безопасности труда;
- террористический акт.

В целях предотвращения пожара на буровой установке, которые чаще всего возникают посредством ГНВП, проводятся следующие мероприятия:

- запрет на расположение электропроводки в местах возможного повреждения и хранение ГСМ ближе 20 метров от установки;
- отведение специальных мест для курения и разведения огня;
- установка защитного заземления для исключения возможного возгорания от статического электричества;
- оснащение буровой установки молниезащитой для предупреждения возгорания от удара молнии;
- оборудование буровой средствами пожарными щитами согласно ПП РФ от 21.03.2017 г №316 «О противопожарном режиме» [118].

В целях предотвращения взрыва на буровой установке проводятся следующие мероприятия:

- исключение наличия источников возгорания;
- испытание сосудов, работающих под давлением, на давление, превышающее рабочее в полтора раза (согласно ПБНГП) [106];
- установка контрольно-измерительных приборов (манометры и датчики), защитной аппаратуры и табличек;
- исключение вероятности достижения НПВ газами, поступающими из скважины, либо парами взрывоопасных веществ.

Нормы НПВ определяются согласно ГОСТ 12.1.044-84 ССБТ [113]:

- природный газ – не более 4% по объему;
- пары нефти, бензина – не более 1,25% по объему;
- сероводород – не более 4,3% по объему.

Меры по предотвращению достижения НПВ ограничиваются вентиляцией закрытых помещений, хранением нефтепродуктов в закрытой таре, и применением искробезопасного инструмента.

Категория пожаровзрывоопасности помещения и кустовой площадки согласно техническому регламенту: повышенная взрывопожароопасность (АН); класс пожароопасности –П–П.

На внешней стороне пожарного шкафа, на пожарном щите и соответственно на стенде должен быть указан порядковый номер и номер телефона ближайшей пожарной части. Пожарный инвентарь необходимо размещать на видных местах, иметь свободный доступ к ним и не препятствовать эвакуации во время пожара.

4.3 Экологическая безопасность

4.3.1 Анализ влияния процесса строительства скважины на окружающую среду

Результаты анализа вредных воздействий на окружающую среду и природоохранные мероприятия для устранения воздействий представлены в

таблице Е. 1 приложения Е.

4.3.2 Обоснование решений по обеспечению экологической безопасности

С целью уменьшения объема подлежащего утилизации бурового раствора, предусмотрена четырехступенчатая система очистки от шлама.

При бурении скважин для сбора шлама и жидких отходов бурения и освоения скважины на кустовой площадке имеется шламовый амбар. Требования к сооружению амбаров регламентированы РД 51-1-96 [115].

Сроки проведения этапа ликвидации отходов и рекультивации определяются органами, предоставившими землю и давшими разрешение на проведение работ, связанных с нарушением почвенного покрова, на основе соответствующих проектных материалов и календарных планов, согласно ПП РФ от 23.02.1994 №140 [116].

Для обеспечения охраны недр и подземных вод настоящим проектом предусматривается строительство скважин в соответствии с действующими требованиями технологии бурения, крепления и испытания скважин в соответствии с ВРД 39-1.13-057-2002 [117].

4.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

4.4.1 Анализ возможных ЧС, возникающих при строительстве скважин

Наиболее вероятным ЧС техногенного характера является ГНВП, возникающее при строительстве скважины при несоблюдении порядка проведения работ согласно ПБНПП [106]. ГНВП опасно переходом в открытое фонтанирование, которое чревато негативными последствиями, в том числе опасностью для жизни и здоровья.

Причинами возникновения ГНВП в первую очередь принято считать нарушения трудовой и технологической дисциплины, халатность и некомпетентность. С технической точки зрения основной причиной возникновения ГНВП

является внезапное или постепенное снижение противодействия на продуктивный пласт, создаваемого весом столба бурового раствора в скважине, ниже величины пластового давления.

4.4.2 Обоснование мероприятий по предупреждению и ликвидации ЧС

Мероприятия по предупреждению ГНВП включают в себя проведение работ согласно ПБНПП [106]. При появлении признаков поступления пластового флюида в скважину подается сигнал «Выброс». При этом буровая вахта обязана загерметизировать канал бурильных труб, устье скважины, информировать об этом руководство бурового предприятия и действовать в соответствии с планом ликвидации аварий согласно пункту 5 РД 08-254-98 [118].

Заключение

В аналитической выпускной квалификационной работе магистра была поставлена цель – проанализировать тенденции развития способов разрушения горных пород, произвести обзор и анализ новых способов разрушения и соответствующего породоразрушающего инструмента.

Для достижения поставленной цели, были рассмотрены открытия, изобретения и принципы развития технологий разрушения горных пород в хронологическом порядке с древних времён до настоящего времени.

Произведён обзор существующих способов разрушения горных пород, а также перспективных технологий, которые находятся на этапе своего формирования. Выделены преимущества и недостатки каждого отдельно взятого способа, а также определены наиболее благоприятные области применения перспективных немеханических и комбинированных способов разрушения горных пород.

На сегодняшний день способы механического разрушения горных пород обеспечивают основной объем работ. Техничко-экономический анализ современных способов бурения скважин показывает невозможность устранения целого ряда присущих им принципиальных недостатков:

- низкий КПД (2–10 %);
- наличие сложных кинематических передач;
- быстроизнашивающийся и недостаточно надёжный породоразрушающий элемент;
- резкое уменьшение скорости разрушения с увеличением крепости разрушаемых пород и диаметра скважин;
- высокая себестоимость работ и др.

В этой связи не ослабевает интерес как к совершенствованию традиционных, так и к поиску и разработке принципиально новых способов разрушения горных пород. Каждый отдельно взятый способ разрушения обладает как преимуществами, так и определенными недостатками. Комбинируя, объединяя различные способы, получают новые.

Теоретическая значимость заключается в возможном использовании основных результатов данной работы в компаниях-недропользователях, а также в исследовательских организациях.

Научная новизна заключается в разработке авторской классификации способов разрушения горных пород, а также в выявлении благоприятных областей их применения.

Преимущества и недостатки, и наиболее благоприятные области применения перспективных немеханических и комбинированных способов разрушения горных пород представлены в таблице Г.1, приложения Г.

Список литературы

1. Прозоровский Д.Н. Старинное описание солеваренного снаряда // Известия Императорского археологического общества, 1868. Т. 6. Вып. 3.
2. Тараканова Е.С. Бурение скважин на Леденгских соляных промыслах в начале XIX века // История науки и техники, 2006. № 3. С. 62–72.
3. О разведках нефти на Кавказе и о прочем (рапорт Горному департаменту горного инженера Гилева) // Горный журнал, 1866. № 2. С. 282–285.
4. Монография бурения и эксплуатации скважин на бакинских нефтяных промыслах. Баку, 1902. 276 с.
5. Глушков И.Н. Краткая история буровых скважин // Уральский техник, 1912. № 10. С. 9–10.
6. Указатель всероссийской промышленной и художественной выставки 1896 года в Нижнем Новгороде. М.: 1986. 542 с.
7. Тараканова Е.С. Бурение скважин в XIX в. // История науки и техники, 2008. № 4. С. 42–53.
8. Близнюков В.Ю. Основные периоды развития техники и технологии бурения и совершенствования конструкций скважин в Грозном (с 1893 по 1934 г.) // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море, 2004. № 7. С. 18.
9. Groundbreaking inventions that revolutionized the petroleum industry. [Электронный ресурс] Режим доступа: URL: <https://www.bakerhughes.com/company/about/history> (дата обращения 25.05.2021).
10. Вадецкий Ю.В. Бурение нефтяных и газовых скважин: учеб. для нач. проф. образования. М.: Академия, 2003. 352 с.
11. Вадецкий Ю.В. Справочник бурильщика: учеб. пособ. для нач. проф. образования. М.: Издательский центр «Академия», 2008. 416 с.
12. Баграмов Р.А. Буровые машины и комплексы: Учеб. для вузов. М.: Недра, 1988. 501 с.
13. Болденко Д.Ф., Болденко Ф.Д., Гноевых А.Н. Винтовые забойные двигатели. М.: Недра, 1999. 375 с.

14. Кудинов В.И. Основы нефтегазового дела: Учебник для вузов. – Москва – Ижевск, Институт компьютерных исследований, УдГУ, 2011.- 728 с.
15. Щелкачев В.Н. Отечественная и мировая нефтедобыча. - Институт компьютерных исследований, РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2002.
16. Байбаков Н.К., Байков Н.М., Басниев К.С., Черняев В.Д., Халимов Э.М., Кузнецов О.Л. и др. Вчера, сегодня, завтра нефтяной и газовой промышленности России. М.: ИГ и РГИ, 1995.
17. Чердабаев Р.Т. Нефть. Вчера, сегодня, завтра Автор: Издательство: Юнайтед Пресс Объем: 352 ISBN: 978-5-904522-44-5 Год: 2010.
18. Желтов Ю.П., Кудинов В.И., Малофеев Г.Е. Разработка сложнопостроенных месторождений вязкой нефти в карбонатных коллекторах. Москва - Ижевск, 2011г., - 328 с.
19. Лысенко В.Д. Разработка нефтяных месторождений. Эффективные методы - М.: ООО "Недро-Бизнесцентр", 2009. - 552 с.
20. Сулакшин С.С. Разрушение горных пород при бурении скважин. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 129 с.
21. Нескоромных, В. В. Разрушение горных пород при проведении геологоразведочных работ / Нескоромных В.В. - Краснояр.: СФУ, 2015. - 396 с.
22. Технология бурения нефтяных и газовых скважин: учебник для студентов Т 38 вузов. — В 5 т. Т. 1 / под общ. ред. В. П. Овчинникова. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2014. — 568 с.
23. Дмитриев А.Ю. Основы технологии бурения скважин: учебное пособие. – Томск: Изд-во. ТПУ, 2008. – 216 с.
24. Зварыгин В.И. Буровые станки и бурение скважин: учебное пособие/ Сибирский федеральный университет (СФУ). –2-е изд., стер. –Москва; Красноярск: Инфра-М Изд-во СФУ, 2018. –255 с
25. Технология бурения нефтяных и газовых скважин: учебник для студентов Т 38 вузов. – В 5 т. Т. 1 / под общ. ред. В. П. Овчинникова. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2014. — 568 с.

26. Иванов К.И. Техника бурения при разработке месторождений полезных ископаемых / К.И. Иванов, В.А. Латышев, В.Д. Андреев. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва: Недра, 1987. – 271 с.
27. Вайсберг Л.А., Зарогатский Л.П., Туркин В.Я. Вибрационные дробилки. – Санкт-Петербург.: Издательство ВСЕГЕИ, 2004.
28. Технология бурения нефтяных и газовых скважин: учебник для студентов Т 38 вузов. — В 5 т. Т. 1 / под общ. ред. В. П. Овчинникова. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2014. — 568 с.
29. Groundbreaking inventions that revolutionized the petroleum industry. [Электронный ресурс] Режим доступа: URL: <https://www.bakerhughes.com/company/about/history> (дата обращения 24.05.2021).
30. Балденко Д.Ф., Балденко Ф.Д., Гноевых А.Н. Винтовые гидравлические машины. Том 2. Винтовые забойные двигатели. М.: ООО «ИРЦ Газпром», 2007. 470 с
31. Веревкин А.В., Молодило В.И. О повышении эффективности бурения нефтяных и газовых скважин гидравлическими забойными двигателями // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. -2013. -№1. -С. 16-19.
32. Буровые комплексы. Современные технологии и оборудование. Объединенные машиностроительные заводы группа Уралмаш-Ижора. Екатеринбург: 2002. –577 с.
33. Хлебников Д.А., Мялицын Н.Ю. Соболев А.В. Краткий обзор особенностей современных ГЗД производства ООО «ВНИИБТ –Буровой инструмент» // Нефтегазовая Вертикаль. –2014. –№ 10. –С. 22-23.
34. Осипов Д.А. Винтовые забойные двигатели повышенной надежности производства ОАО "КУНГУРСКИЙ МАШИНАСТРОИТЕЛЬНЫЙ ЗАВОД" // Вестник Ассоциации буровых подрядчиков. –2007.-№2. -С.16-17.
35. Заливин В.Г., Суренков А.А. Современное состояние и перспективы развития отечественных винтовых забойных двигателей // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле РАЕН. –2014. -№ 2 (45). –С. 52-63.

36. Бурение структурно-поисковых скважин. Пупшев А.В. -М.: «Недра», 1971. –392 с.11. Лесецкий В.А., Ильский А.Л. Буровые машины и механизмы: Учебник для техникумов. -2-е изд., перераб. и доп.—М.: Недра, 1980. –391 с
37. Прохоренко В.В. Рациональные схемы КНБК с двигателем-отклонителем для комбинированного способа бурения направленных скважин // Вестник Ассоциации буровых подрядчиков. –2007. -№3. -С.28-31.
38. Абнян Х.Л. Турбобуры для наклонного бурения и пути их модернизации // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. –2010. - №7. -С. 19-20.
39. Алмамедов Я.Л., Фадеев М.В. Геологические осложнения при бурении геологоразведочных скважин в Волого-Ахтубинском междуречье // Геология, география и глобальная энергия. -2012. -№ 4 (47). –С. 41-46.
40. Дмитриев А.Ю. Основы технологии бурения скважин: учебное пособие. – Томск: Изд-во. ТПУ, 2008. – 216 с.
41. Основы технологии бурения скважин: учебное пособие. – Томск: Изд-во: ТПУ, 2008. – 216 с.
42. Профили направленных скважин и компоновки низа бурильных колонн / А. Г. Калинин, Б. А. Никитин, К. М. Солодкий, А. С. Повалихин. - М.: Недра, 1995. – 304
43. Кейн С.А. Современные технические средства управления траекторией наклонно-направленных скважин: учебное пособие / С.А. Кейн –Ухта: УГТУ, 2014.
44. Бурение наклонных, горизонтальных и многозабойных скважин А. С. Повалихин, А. Г. Калинин, С. Н. Бастриков, К. М. Солодкий; под общ.ред. доктора технических наук, профессора А. Г. Калинина. –М.: Изд. Центр-ЛитНефтеГаз, 2011. –647с
45. Осипов Ю.В., Ахметов Д.С., Еникеев Р.В., Бадретдинов Д.Ф. «Применение роторных управляемых систем для бурения».
46. Крутой поворот в направленном бурении // Журнал «Сибирская нефть» [Электронный ресурс] Режим доступа: URL: <https://www.gazprom->

neft.ru/press-center/sibneft-online/archive/2020-november/5117336/ [Электронный ресурс] (дата обращения – 24.05.2021)/

47. Булатов, А.И. Справочник инженера по бурению: в 4т. / А.И. Булатов, А.Г. Аветисов. – М.: Недра, 1985. – т. 1-2.

48. Калинин, А.Г. Практическое руководство по технологии бурения на жидкие и газообразные полезные ископаемые: Справочное пособие / А.Г. Калинин и [др]. – М.: ООО «Недра – Ббизнес центр», 2001.

49. Пешалов Ю.А. Физико-механические свойства горных пород и влияние их на эффективность бурения. Университетская книга, 2005

50. Нескоромных, В. В. Разрушение горных пород при проведении геологоразведочных работ / Нескоромных В.В. - Краснояр.: СФУ, 2015. - 396 с.

51. Физика, техника и использование низкотемпературной плазмы. Тр. IV Всесоюзной конференции по генераторам и физике низкотемпературной плазмы, А.–А., 1970; Бергман Э. Д., Покровский Г. Н., Термическое разрушение горных пород плазмой, Новосибирск., 1971.

52. SPE 173016-MS “Utilization of Electrical Plasma for Hard Rock Drilling and Casing Milling

53. Способ электротермического бурения и устройство для его осуществления (РФ № 2013514). [Электронный ресурс] Режим доступа: URL: <http://www.freepatent.ru/patents/2013514> (дата обращения 25.05.2021).

54. Проведение буровых скважин посредством жара. [Электронный ресурс] Режим доступа: URL: <http://byrim.com/burenie/20.html>.

55. Способ бурения скважин с использованием лазерной энергии и устройство для его реализации (RU 2449106). [Электронный ресурс] Режим доступа: URL: <http://www.findpatent.ru/patent/244/2449106.html>.

56. Лазерное бурение. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <http://computerchoppers.ru/razrushenie/2722-lazernoe-burenie.html>.

57. C. B. Reed, Z. Xu, R.A. Parker, B. C. Gahan, S. Batarseh, R. M. Graves, H. Figueroa, W. Deeg, U. S. DOE Report ANL/TD/TM03-02, 2003.

58. R.M. Graves, and. D.G. O'Brien, SPE 49259, 1998.

59. S. Pooniwala, SPE Eastern Regional Meeting, Canton, Ohio, U.S.A., 2006
60. SARFRAZ S, SHEHAB E, SALONITIS K. A Review of Technical Challenges of Laser Drilling Manufacturing Process [C]//Advances in Manufacturing Technology XXXI: Proceedings of the 15th International Conference on Manufacturing Research, Incorporating the 32nd National Conference on Manufacturing Research, September 5–7, 2017, University of Greenwich, UK. IOS Press, 2017.
61. Poprawe R, Schulz W, Schmitt R. Hydrodynamics of material removal by melt expulsion: Perspectives of laser cutting and drilling [J]. Physics Procedia, 2010, 5: 1-18.
62. Патент РФ 2416708 от 09.04.2009 г. «Устройство для бурения твердых горных пород снабжено электродвигателем, колонковой трубой с буровой цилиндрической коронкой, армированной термостойкими резцами, лазерным устройством, закрепленным с валом электродвигателя через вращающуюся часть токосъемника, стекловолоконным кабелем, связывающим лазерное устройство с лазером».
63. Важов В.Ф., Журков М.Ю., Лопатин В.В., Муратов В.М. Электроразрядное резание горных пород // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых, 2008, – №2. – С.70-77.
64. Важов В.Ф., Гафаров Р.Р., Дацкевич С.Ю., Журков М.Ю., Муратов В.М. Электроимпульсный пробой и разрушения гранита // Журнал технической физики, 2010, – т.80, вып.8. – С.79-84.
65. Важов В. Ф. [и др.]. Возможность комбинированного электроимпульсно-механического способа бурения горных пород // Проблемы научно-технического прогресса в бурении скважин: сборник докладов Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, посвященной 60-летию кафедры бурения скважин, Томск, 2014 г. – Томск: Изд-во ТПУ, 2014. – [С. 31-36]
66. Электроимпульсный способ разрушения горных пород (Патент RU 2232271). [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <http://www.findpatent.ru/patent/223/2232271.html> (дата обращения 25.05.2021).

67. Свидетельство на открытие № А-122 от 29.04.1998 с приоритетом от 14.12.1961 / А.А. Воробьев, Г.А. Воробьев, А.Т. Чепиков. «Закономерности пробоя твердого диэлектрика на границе раздела с жидким диэлектриком при действии импульса напряжения».

68. Воробьев А.А. Разрушение горных пород электрическими импульсными разрядами. - Томск: Изд-во ТГУ, 1961. - 150 с.

69. Воробьев А.А., Воробьев Г.А. Электрический пробой и разрушение твердых диэлектриков. - М.: Высшая школа, 1966. - 224 с.

70. Импульсный пробой и разрушение твердых диэлектриков и горных пород/А.А. Воробьев, Г.А. Воробьев, Е.К. Завадовская и др. - Томск: Изд-во ТГУ, 1971. - 225 с.

71. В.И. Брылин. Бурение скважин специального назначения: Учебное пособие. - Томск: Изд-во ТПУ, 2006. - 255 с. (С.119-142).

72. Электричество работает [Текст]/Г. И. Бабат. - Москва; Ленинград: изд-во и тип. Госэнергоиздата, 1950 (Москва). - 416 с.

73. Хмелев, В.Н. [Применение ультразвука высокой интенсивности в промышленности](#) / В.Н. Хмелев, А.Н. Сливин, Р.В. Барсуков, С.Н. Цыганок, А.В. Шалунов; Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2010. – 203с.

74. Влияние типа породы на эффективность гидромониторного бурения // Экспресс-информ., Сер. Бурение. – М.: ВНИИОЭНГ, 1977. – №6. – С. 3–6.

75. Исследование струйного бурения в твердых породах // Экспресс-информ., Сер. Техника и технология буровых и горноразведочных работ. – М.: ВИНТИ, 1977. – №29. – С. 1–15.

76. Кожевников А.А., Давиденко А.Н. Гидромеханический и эрозионный способы разрушения горных пород при бурении скважин: Обзорн. информ. // Техн. и технол. геол.-разв. работ, орг. пр-ва. – М.: ВИЭМС, 1987. – 45 с.

77. Козодой А.К., Варламова Е.П. Количественная оценка силового воздействия гидромониторной струи на забой скважины //Совершенствование

технологии проводки глубоких скважин в Нижнем Поволжье. – Волгоград, 1975. – Вып. 23. – С. 18–26.

78. Маковой Н. Гидравлика бурения. – М.: Недра, 1986. – 536 с.

79. Мительман Б.И., Гусман А.М. Гидромеханическое и эрозионное бурение // Обзор зарубежной литературы, Сер. Бурение. – М.: ВНИИОЭНГ, 1971. – С. 3–75.

80. Результаты лабораторных и промысловых исследований гидроабразивного способа бурения // Экспресс-информ., Сер. Техника и технология буровых и горноразведочных работ. – М.: ВИНТИ. – 1972. – №5. – С. 14–22.

81. Струговец Е.Т., Бишиев А.Г., Коренько А.В. Влияние добавок твердой фазы в промывочную жидкость на эффективность разрушения пород высоконапорными струями // Тр. Гипротюменнефтегаз. – Тюмень, 1973. – Вып. 37. – С. 3–8.

82. Ковалев А.В., Рябчиков С.Я. и др. Проблемы гидродинамических способов бурения скважин и основные направления их решения. УДК 622.243.95 С. 6–12.

83. Леджервуд Л.У. Обзор работ по созданию усовершенствованных способов бурения нефтяных скважин (перевод с англ.). – М.: ГОСИНТИ, 1961. – 258 с.

84. Matus Gajdos, Igor Kocis, Tomas Kristofic, Ivan Kocis, Marek Gebura and Roy Baria: Recent Achievements in Development and Testing of Innovative Plasma-Based Drillingm, 2020.

85. ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация.

86. ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.

87. СанПиН 2.2.4.548-96. 2.2.4. Физические факторы производственной среды. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. Санитарные правила и нормы.

88. ГОСТ 12.0.003-74 Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы.

89. ГОСТ 12.1.012-2004. Система стандартов безопасности труда. Вибрационная безопасность.
90. ГОСТ 12.2.003-91. Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.
91. ГОСТ 12.3.009-76 ССБТ. Работы погрузочно-разгрузочные. Общие требования безопасности.
92. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
93. ГОСТ 12.1.045-84 Система стандартов безопасности труда. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля.
94. ГОСТ 12.1.030-81 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление.
95. Федеральный закон "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" от 22.07.2008 N 123-ФЗ
96. ГОСТ 12.2.033-78 Система стандартов безопасности труда (ССБТ)
97. ГОСТ 12.2.032-78 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.
98. ГОСТ 12.0.003-74 Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. Обозначение.
99. МР 2.2.7.2129-06 "Режимы труда и отдыха работающих в холодное время на открытой территории или в неотапливаемых помещениях.
100. СанПиН 2.2.4.548-96. 2.2.4. Физические факторы производственной среды. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. Санитарные правила и нормы.
101. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
102. ГОСТ 12.1005-88 ССБТ Общие санитарно- гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

103. ГН 2.2.5.1313-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны.

104. СНиП 2.04.05-91 Отопление, вентиляция и кондиционирование.

105. ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.

106. Приказ Ростехнадзора от 12.03.2013 N 101 (ред. от 12.01.2015). Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности "Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности".

107. Р 3.5.2.2487-09 Руководство по медицинской дезинсекции.

108. Жуков В. И. Защита и безопасность в чрезвычайных ситуациях: учебное пособие / В. И. Жуков, Л. Н. Горбунова; Сибирский федеральный университет (СФУ). – Москва; Красноярск: Инфра-М Изд-во СФУ, 2014. — 392 с.: ил. — Высшее образование. Бакалавриат. — Библиогр.: с. 384-387.

109. ГОСТ 21958-76. Система «человек-машина». Зал и кабины операторов. Взаимное расположение рабочих мест. Общие эргономические требования.

110. ГОСТ 21958-76. Система «человек-машина». Зал и кабины операторов. Взаимное расположение рабочих мест. Общие эргономические требования.

111. ГОСТ 27487-87. Электрооборудование производственных машин. Общие технические требования и методы испытаний.

112. ПП РФ от 21.03.2017 г №316 О противопожарном режиме.

113. ГОСТ 12.1.044-84 Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения.

114. РД 51-1-96 Инструкция по охране окружающей среды при строительстве скважин на суше на месторождениях углеводородов поликомпонентного состава, в том числе сероводородсодержащих.

115. РД 51-1-96 Требования к сооружению амбаров.

116. ПП РФ от 23.02.1994 №140 О рекультивации земель, снятии, сохранении и рациональном использовании плодородного слоя почвы.

117. ВРД 39-1.13-057-2002 Регламент организации работ по охране окружающей среды при строительстве скважин.

118. РД 08-254-98 Инструкция по предупреждению газонефтеводопроявлений и открытых фонтанов при строительстве и ремонте скважин в нефтяной и газовой промышленности.

119. ГОСТ 12.1.019-2017. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

120. Приказ Минэнерго России №204 от 08.07.2002 об утверждении «Правил устройства электроустановок» (ПУЭ).

121. Взрывное и механическое разрушение горных пород [Текст]: [Учеб. пособие для горных специальностей вузов]. - Москва: Недра, 1973. - 311 с.

122. Исследование процесса бурения взрывных скважин в условиях шахт Кривбасса [Текст]: Автореферат дис. на соискание ученой степени кандидата технических наук /Криворожский горнорудный институт. - Кривой Рог: [б. и.], 1967. - 21 с

Приложение А
(справочное)

Development trends in methods of rocks destruction

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ92	Черников Михаил Игоревич		

Руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ковалёв А.В.	к.т.н		

Консультант – лингвист отделения иностранных языков ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Матвеев И.А.	д.ф.н		

Abstract

The conventional rotary drilling used for the exploration and extraction of crude oil and natural gas is a very complex and costly operation. In view of the challenges associated with the increase in oil demand, some economic methods are being developed by the oil companies to decrease the drilling cost. For this purpose, several novel drilling techniques are being attempted. These techniques include studies on rock failure by mechanical, thermal, hydraulic, fusion and vaporization, and chemical means. Jet piercing is widely used for drilling very hard, spallable rocks. Other methods include the use of electric arc, laser, plasma, spark, and ultrasonic drills. With the advent of advanced high-power laser, the researchers from the petroleum industries and universities found that it has great potential in oil and gas well drilling. It has many advantages over the conventional rotary methods such as high penetration rate reduction or elimination of tripping, casing and bit costs, enhanced well control, and side-tracking capabilities. This section reviews the research works on the application of laser in oil and gas well drilling carried out by various laboratories worldwide with varying degrees of success in the oilfields.

Introduction

The major challenge for the oil industry is to identify strategies for maximizing the upstream potential value of the discovered reserves and to optimize future investments in order to reduce risk and costs in both exploration and exploitation activities, while minimizing the environmental impact. The return of the petroleum sector is creating more pressure on the drilling business to develop better, faster and cheaper drilling methods and well construction.

At present, rotary drilling is the dominant technique for well production in the oil and gas industry. But this is a very complex and costly operation. Therefore, the further development of drilling techniques is to be approached by the utilization of a different form of energy source. Thermal energy in the form of combustion can be a good alternative besides the jet piercing, which is a well-developed commercial process for the drilling of blast holes in taconite ore formation. These drilling techniques have reached high degree of perfection.

The application of electric arc energy or plasma deep drilling technology is another recently explored new drilling technology, which would be able to substitute conventional, contact-based rotary systems. None of these attempts has been proven to be effective in extreme deep drilling conditions. However, after going through various research papers and numerous case studies, it was found that these techniques may emerge as future technologies which are waiting to come and can revolutionize the drilling methods practiced all over the world.

1 Unconventional drilling methods

There are numerous nonconventional drilling techniques available in mining sector. Out of these methods, plasma-arc torch, electron beam, laser thermal and electric heater are expected for their applications in oil and gas fields. The meters used in these methods do not need to rotate and the coiled tubing unit or conventional rigs are not required which drastically reduce the operating cost. These systems will not need mud pumps or mud-cleaning equipment. Although they do not have liquid drilling fluids for hole stability and well control, the melted rock has the potential to form a glassy lining on the wellbore, which might alleviate those problems.

Some of the negative attributes are the direct contact of heaters with the bottom hole, difficulty in lifting melted rock from the bottom hole, and power or fuel transmission to bottom hole. Some additional unconventional method is also found under research such as spark drilling and pulsed laser water jet. Spark drilling has a positive effect to be considered like higher rates of penetration may be possible. The spark drill operates in hydraulic communication channel wellbore and with adequate instrumentation, system can improve directional control. However, it has also some negative points like, energy transmission requires electrical conduit downhole, high currents cause insulation breakdown, system has reduced cutting ability at increased depth and gas is generated downhole by electrical discharge.

The pulsed-laser water jet is also under research and may have significant potential. The combination of tensile rock failure and resonant vibration means efficient energy transfer. Though it has a significant limitation such as: system requires multi-

channel conduit, system requires stand-off control and gauge maintenance, system requires laminar flow of clear water downhole.

1.1 Laser

The earliest studies were directed at enhancing tunneling machines in mining industry using lasers. Lasers available at those times were of very low power, produced large wavelengths and were unsafe for industrial use. Naturally, laser drilling was never considered feasible for the oil industry either. There was a great resistance by the oil industry when cable tool drilling was replaced by the rotary drilling. It involved the huge efforts from the rich, powerful and influential innovative people to bring such a change in the drilling practices. Laser drilling technique will have to cross major obstacles before it can be accepted as the first fundamental change to rotary drilling methods.

The laser devices are those, which convert one form of energy into photons, which are electromagnetic radiations. The following seven types of lasers have been identified for their use in oil and well drilling:

- i) Hydrogen fluoride and deuterium fluoride laser: These have operating wavelength range of 2.6 – 4.2 micrometer. MIRACL was used for reservoir rocks test.
- ii) Chemical oxygen iodine laser: Operates at wavelength of 1.315 micrometer. It is possible to destroy missiles with its help that too with a great precision and high range. Such high precision and range can be successfully used to tackle a number of well problems.
- iii) Carbon dioxide laser: Operates at wavelength of 10.6 micrometer with average power of 1MW. It can operate in both continuous and pulsed wave mode. However, because of its large wavelength, attenuation occurs through fiber optics.
- iv) Carbon monoxide laser: Operates at wavelength of 5-6 micrometer. It can also operate in both continuous and pulsed wave mode. Its average power is 200KW.
- v) Free Electron laser: In CW mode, this can be tuned to any wavelength and is considered as high-power laser for future. Thus, its wavelength can be adjusted in case of reflection, blackbody radiation, etc.

vi) Neodymium: yttrium aluminum garnet laser: Operates at 1.06 micrometer wavelength with power of 4KW.

vii) Krypton fluoride (excimer) laser: Operates at 0.248 micrometer wavelength with power of 10KW. It can be operated in RP mode. In this laser, the atoms of krypton and fluoride in KrF molecule are in excited state.

1.2 Laser Mechanical Bit

The laser mechanical bit works on the principal of first spalling the rock using a laser beam. It has been proved that temperatures induced by lasers weaken the rock. This is due to fracture development, mineral dehydration and vaporization that results in an increase in the void space. It is found that when compared to the unused portion the various modules such as Young's modulus, shear modulus, bulk modulus and combined modulus of the rock were reduced. This weakened rock is then drilled through using normal presently used mechanical bit techniques. This is achieved at a faster more efficient rate. The laser characteristics can be adjusted from surface depending on logging information to suit the formation characteristics.

Laser drilling, the latest hybrid laser-mechanical technology can dramatically reduce energy requirements for drilling purposes. With the application of laser drilling, energy and power companies can successfully reduce the cost, time and power consumed in carrying out oil and gas exploration activities.

Research History

In 1997, the first research regarding use of the laser technology in petroleum industry funded by Gas Research Institute (GRI) started by using high power MIRACL and COIL lasers. Studies showed that today's lasers could penetrate all rock types. The second laser drilling study in 2001 funded by the National Energy Technology Laboratory (NETL) under Department of Energy USA cooperative agreement. This study indicated the minimum amount of energy required to penetrate rock as well as the laser parameters that would penetrate most efficiently for each lithology tested: Sandstone, Shale, and Limestone. In 2009, ARPA-E gave ForoEnergy Co. a \$9.14 million grant to develop a “low-contact” drilling technology to aid development of geothermal energy, which often must be extracted from very hard volcanic rocks. The agency’s goal

was to reduce drilling costs by up to a factor of 10, helping to make carbon-free geothermal energy competitive with fossil-fuel energy generation. With private funding, Foro investigated the same technology for oil and gas wells drilling. Finally, in 2012 Foro Energy was succeeded in build the first laser drilling machine. The research team in Iran started laser/rock interaction studies since 2008. Laser drilling experiments performed using combinations of laser input parameters on several rock lithologies to determine specific cause and effect relationships. Optimized variables were identified and demonstrations conducted to show the capability of lasers to cut tunnels of at least 12-in. deep into sandstone and limestone as well. One notable advantage resulting from laser perforation on Limestone is the improvement of near tunnel fluid flow characteristics. Measured permeability increased between 80 percent and 190 percent along the tunnel face of a perforation demonstration on a 12-in. sample of Limestone.

1.3 Stage of laser drilling

When laser is contacted with surface of stone, under following stages stone is drilled respectively: spallation, melting and evaporating. Upon contact of laser to surface of stone, laser shows the following reactions: beams are reflected, beams are distributed, beams are absorbed as resulted in experiments. Tests indicate that reflected, distributed and absorbed beams have low effect on stone, in fact mechanism that results in spallation and finally drilling rock, is absorbing laser beams. Using laser in rock having high heat transfer coefficient results in evaporating accumulated crystal water with solution mineral materials at stone, expansion of stone and finally fractures made in structure of stone. In different tests it is used from laser working with nitrogen gas. Reason of using nitrogen gas is burning discharged gases during stone drilling and discharging vapor. This gas results in cleaning crushes. In rotating drilling, it is used from transferring fluids from bottom of well to surface of well, meanwhile research in the field of laser drilling by presence of drilling fluid.

1.4 Spallation and Melting Zone Identified

When a high-power laser beam strikes the surface of a rock, energy will be reflected, scattered and absorbed. The absorbed energy is that which is transferred to the sample, and is responsible for breaking and cutting rock. Depending on the sample

composition and properties, absorbed energy will be consumed by various mechanisms, including dehydration, vaporization, grain expansion, melting, pore expansion, decomposition, and other factors. Lasers utilize three methods of rock destruction; spallation, melting, and vaporizing; and can be controlled to the extent of the application of these parameters. Since the temperature of the exposed rock sample remains below the melt temperature of the quartz grains, the primary rock removal method is spallation. The spallation temperatures in limestone have been documented as ranging between 540–700 °C. Should local temperatures rise and phase changes occur in the rock minerals, such as melting and vaporization, absorbed energy is redirected away from the rock cutting process.

In the case of limestone, the mechanism of laser rock interaction with Limestone is different from Sandston due to the chemical composition different. The physical and chemical changes in limestone were different due to mineralogy and chemical composition. Thermal dissociation takes place when limestone interacts with the laser, producing carbon dioxide (CO₂), (Equation 1). No melting was observed in limestone, due to the thermal dissociation of CaCO₃.



1.5 Method and Discussion

Over 18 core samples were exposed to laser energy in laboratory settings. Rocks types lased include sandstone, limestone, and shale (Figure 1).



Figure 1 – Perforated rock samples. Left to right: Limestone, Shale, and Sandstone

Laser CO₂ system uses from its 100% power by rate of radiation nearly 10mm/s. In this test it was used from spiral mechanism for drilling in which stone was drilled for 30sec with diameter of 1/2 inch. Figure 2 shows the laser machine which have been used for drilling rock samples in this research before and after lasing

operation. Laser parameters that control the laser/rock interaction are: laser type, laser power, lasing mode, and wavelength. However, the physical and chemical properties of the rocks also play a major role in determining the nature of the laser/rock interaction. In petroleum engineering applications, certain rock properties are critical for determining flow rate, storage capacity, and overall effectiveness of enhanced oil recovery methods.

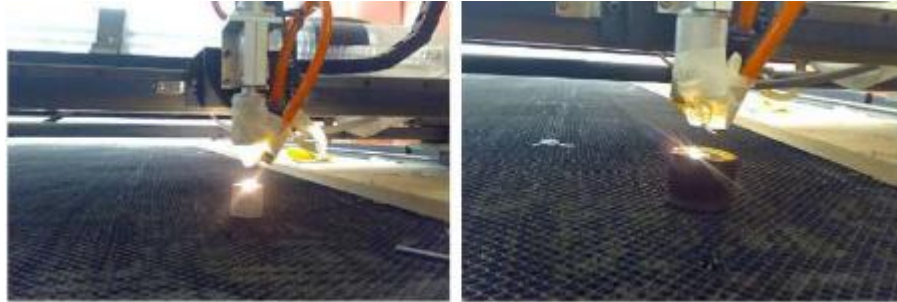


Figure 2 – Laser CO₂ machine

1.6 Change in physical properties of rock

Evaluation of rock properties includes a number of physical and chemical analyses at both microscopic (petrographic thin sections) and macroscopic (core samples) scales. Some of the analytical techniques used in this work are standard methods and are actively applied in many engineering disciplines. In the case of some of the analytical methods used (Simultaneous Thermal Analysis) this study represents the first attempt to apply them to evaluate reservoir rock properties. The analysis of the lased rocks showed that porosity (Table 1) and permeability (Table 2).

Table 1 – Comparison of porosity before and after lasing for three groups of samples

Sample	Porosity Lased	Before	Porosity Lased	After	Increase %
Sandstone-1	0.25		0.40		160
Sandstone-2	0.18		0.35		194
Sandstone-3	0.18		0.40		222
Limestone-1	0.02		0.08		400
Limestone-2	0.02		0.06		300
Limestone-3	0.04		0.08		200
Shale-1	0.05		0.09		180
Shale-2	0.04		0.09		225
Shale-3	0.07		0.11		157

Table 2 – Comparison of permeability before and after lasing for three groups of samples

Sample	Permeability Before Lased	Permeability After Lased	Increase %
Sandstone-1	628	691	110
Sandstone-2	554	674	121
Sandstone-3	111	301	271
Limestone-1	85	139	164
Limestone-2	104	148	142
Limestone-3	53	91	171
Shale-1	0.07	0.12	171
Shale-2	0.27	0.51	189
Shale-3	11	20	181

These changes are due to dehydration and dissociation the clay and other minerals and generation of laser-induced cracks, both micro and macro.

1.7 Laser Drilling and its advantages

The entire process of laser drilling is of acute importance for the oil and gas industry, as this latest hybrid laser-mechanical technology can dramatically reduce energy requirements for drilling purposes. While the conventional drills require the power of about 2000 HP (1.5 MW), the hybrid technology can do the same task in 10 HP (7.5 kW) which is a petite value in comparison to the conventional drills. Therefore, with the application of laser drilling, energy and power companies can successfully reduce the time and power consumed in carrying out oil and gas exploration activities, along with cutting down on the associated costs.

This principle takes the advantage of basic rock destruction mechanisms, such as thermal spalling, vaporization, fusion, chemical reactions, and mechanical stresses. It has been observed that by increasing the intensity of the laser beam, various changes, such as phase changes, dehydration of clays, release of gases and thermal stresses, etc., can be observed in the rock. Majority of research in the field of laser drilling is focused on solely using a laser to vaporize the rock. These methods are proposed to have various advantages over currently used rotary drilling techniques which include:

- i) Increasing Rate of Penetration (ROP)-Laser drilling shows the potential of having ROPs that is more than 100 times the presently ROPs
- ii) Provision of temporary casing
- iii) Reducing trip time and an increased bit life.
- iv) Lesser dependence on parameters such as weight on bit, mud circulation rate, rotary speed and bit design
- v). Accurate and precise drilling since lasers travel in a Straight-line problem like dog legging are completely eliminated.
- vi). Providing enhanced well control, perforating and side-tracking capabilities
- vii). Single diameter bore hole
- viii). Achieving these breakthroughs with environmentally attractive, safe and cost-effective technology.

1.8 Limitations of Laser Drilling

The main disadvantage of laser cutting is the high-power consumption. Industrial laser efficiency may range from 5% to 15%. The power consumption and efficiency of any particular laser will vary depending on output power and operating parameters. This will depend on type of laser and how well the laser is matched to the work at hand. The amount of laser cutting power required, known as heat input, for a particular job depends on the material type, thickness, process (reactive/inert) used, and desired cutting rate. Some more disadvantages of laser drilling are:

- i) Laser holes are tapered to some extent (approximately 1% of the drill depth).
- ii) Cannot drill a blind hole to a precise depth.
- iii) Adherent metal to be removed from exit hole.
- iv) Slower processing large holes due to trepanning.

Conclusion

The conventional rotary drilling practices are very expensive and new concept of laser drilling technique can revolutionize the current state of oil industry. Laser drilling technique offers a higher rate of penetration values and a properly designed laser system may reduce the rig time and rig cost. Hence, a properly designed laser-based drilling system can reduce the drilling costs significantly. Laser technology might also perform well in horizontal drilling and clear debris from a well bore.

Experiments demonstrated, when a laser beam interacts with a core sample, heat transfer takes place from grain-to-grain by the more direct method of conduction, and across the void space by convection. By applying stress to the limestone sample, more grains are in contact with one another, the void space is reduced, and heat is more efficiently transferred by conduction. The alteration in the rock properties can be summarized under two categories. The first one is an increase in porosity and permeability and a reduction in strength by developing macro, as well micro fractures. The second category is changing the matrix properties due to the temperature induced by the laser. Most of the samples lased showed the presence of clays. Clay molecules contain water; consequently, at high temperatures this water is vaporized causing fractures in the samples, on the other hand at lower temperature, clays will collapse and decrease in size

leading to higher pore size. This was shown in the case of sandstones. In some shales, depending on organic content, a thick melted material (sheath) was formed, which reduces the laser energy transferred into the rock sample so the changes were not as dramatic. If a sheath was not formed, the porosity and permeability were enhanced. In the case of limestone, the samples tended to break down in smaller fragments, due to the sudden heat caused by lasers and low thermal conductivity of the limestone, which results in thermal heterogeneity and expansion.

In the same time, laser rock spallation is a very complex phenomenon and more and more research work is still required for the selection and actual implementation of lasers into a real oil and gas well drilling system.

Приложение Б

История развития бурения

Таблица Б.1 – Хронология основных открытий, изобретений и способов разрушения горных пород при бурении скважин

Период, век, год	Открытия, характер изобретения	Авторы изобретения, место применения	Применяемые способы бурения
VI в. до н.э.	Китайские скважины глубиной до 100 м для добычи воды и соляных рассолов.	Китай	Ударный способ
IX в.	Бурение первых скважин для добычи растворов поваренной соли.	г. Старая Русса, Киевская Русь	Ударный способ
XII в.	Сооружен первый буровой колодец на воду, укрепленный трубами.	Провинция Артуа, Франция	Ударный способ
XII–XVII вв.	Бурение скважин для добычи растворов соли глубиной до 100 метров при начальном диаметре 1 м.	г. Соликамск, г. Балахна, Российская империя	Ударный способ
1834 г.	Предложение применять так называемые ножницы, сдвигающаяся пара звеньев при штанговом бурении.	Эйгаузен, Германия	Ударный способ
1844 г.	Разработка метода сбрасывать соединённое со штангами долото привела к изобретению свободно падающего бурового инструмента «Фрейфала». Этот способ получил название «немецкий».	Кинд, Франции	Ударный способ
1846 г.	Впервые был предложен способ непрерывной очистки скважин – промывка.	Инженер Фовель, Франция	Ударный способ
1846 г.	Первое в мире бурение скважины с целью нефтедобычи.	Инженер В. Семенов, пос. Биби-Эйбат, г. Баку, Российская империя	Ударный способ
1859 г.	Первая пробуренная нефтяная скважина в США, глубиной 22 метра.	Полковник Э. Дрейк в окрестностях г. Тайтесвилл, Пенсильвания, США	Ударный способ

Продолжение таблицы Б.1

1859 г.	Впервые был применен паровой двигатель для бурения.	Г. Д. Романовский, Подольск, Российская империя	Ударный способ
1864 г.	Первая эксплуатационная скважина, пробуренная для добычи нефти.	Кубань, в с. Киевском, в долине реки Кудако, под руководством полковника А.Н. Новосильцева	Ударный способ
1878 г.	Происходит широкое внедрение геологоразведочного бурения – создаются станки вращательного бурения: Сулливан – с гидравлической подачей, станки Крелиус с ручной рычажной подачей - практичные и способные бурить скважины до 1000 метров	США	Вращательный способ
1887 г.	Внедряется роторное бурение на нефть с применением лопастных долот и промывкой глинистым раствором	Новый Орлеан, шт. Луизиана, США	Вращательный способ
1890 г.	Запатентован ротационный гидравлический забойный двигатель. Данное изобретение не было реализовано.	К. Г. Симченко, Баку, Российская империя	Вращательный способ
1899 г.	Был запатентован электробур, который представлял собой электродвигатель, соединенный с долотом и подвешенный на канате.	Российская империя	Вращательный способ
1899 г.	Впервые было предложено дробовое бурение для проходки скважин в твёрдых трещиноватых породах.	Дэвис, США	Вращательный способ
1901 г.	Был сконструирован быстроударный забойный гидравлический двигатель, получивший название «таран Вольского», который устанавливался над ударным механизмом и приводился в движение силой промывочной жидкости. Не получил ни признания, ни широкого распространения, но явился прототипом современных забойных гидроударников.	Вольский, Польша	Ударный способ

Продолжение таблицы Б.1

1902 г.	Впервые в России применен метод бурения вращательным способом с промывкой глинистым раствором, нефть нашли на глубине 345 м.	г. Грозный, Российская империя	Вращательный способ
1906 г.	Разработан и запатентован способ закачки цементного раствора в обсадную колонну с последующим вытеснением его через башмак обсадной колонны в затрубное пространство.	А.А. Богушевский, Российская империя	Вращательный способ
1909 г.	Получен патент на долото с двумя коническими шарошками, которое при вращении совмещало действие резания и удара.	У. Шарп и Г. Хьюз, США	Вращательный способ
1910 г.	Впервые были использованы природные алмазы для специальных керноотборных долот.	Российская империя	Вращательный способ
1915 г.	Предложено твердосплавное бурение, использование твердого сплава для вооружения породоразрушающего инструмента – литого карбида вольфрама – воломита.	Лемм, Германия	Вращательный способ
1923 г.	Запатентован турбобур, представляющий собой многоярусный планетарный редуктор и одноступенчатую гидравлическую турбину, которая приводилось во вращение промывочной жидкостью.	М. А. Капелюшников, С. М. Волох и Н.А. Корнев, СССР	Вращательный способ
1924 г.	Была пробурена первая в мире скважина с помощью разработанного турбобура, получившего название турбобура Капелюшникова.	Сураханы, Баку, СССР	Вращательный способ
1929 г.	Разработано и запатентовано трехшарошечное буровое долото, обладающего значительно большей устойчивостью к сохранению направления бурения, чем двухшарошечное.	Говард Хьюз, США	Вращательный способ
1938 г.	Разработана конструкция электробура, долото которого приводится во вращение погружным электродвигателем.	А.П. Островский и Н.В. Александров, СССР	Вращательный способ
1938 г.	Турбобуром пробурена первая в мире нефтяная скважина глубиной около 600 м.	М.А.Капелюшников, Сураханы, СССР	Вращательный способ

Окончание таблицы Б.1

1940 г.	Пробурена первая скважина электробуром.	Баку, СССР	Вращательный способ
1951 г.	Впервые применили электробур знакопеременного вращения для гашения реактивного момента, опускаемый на гибком электрокабеле-канате.	А. А. Минин, А. А. Погарский и К. А. Чефранов, Башкирия, СССР	Вращательный способ
1954 г.	Начавшийся промышленный выпуск синтетических алмазов и изготовление из них импрегнированных алмазных инструментов.	США	Вращательный способ
1964 г.	Разработан однозаходный гидравлический винтовой забойный двигатель.	США	Вращательный способ
1966 г.	Разработан многозаходный винтовой двигатель, позволяющий осуществлять бурение наклонно-направленных и горизонтальных скважин на нефть и газ.	СССР	Вращательный способ
1970 г.	Созданы безредукторные турбобуры, позволяющие осуществить оптимизацию режимов бурения шарошечными долотами в диапазоне наиболее эффективных.	СССР	Вращательный способ
1973 г.	Долота PDC стали поступать в отрасль, на основе технологии, которая позволяет импрегнировать синтетические алмазы в карбид вольфрама.	«General Electric», США	Вращательный способ

Приложение В

Способы разрушения горных пород

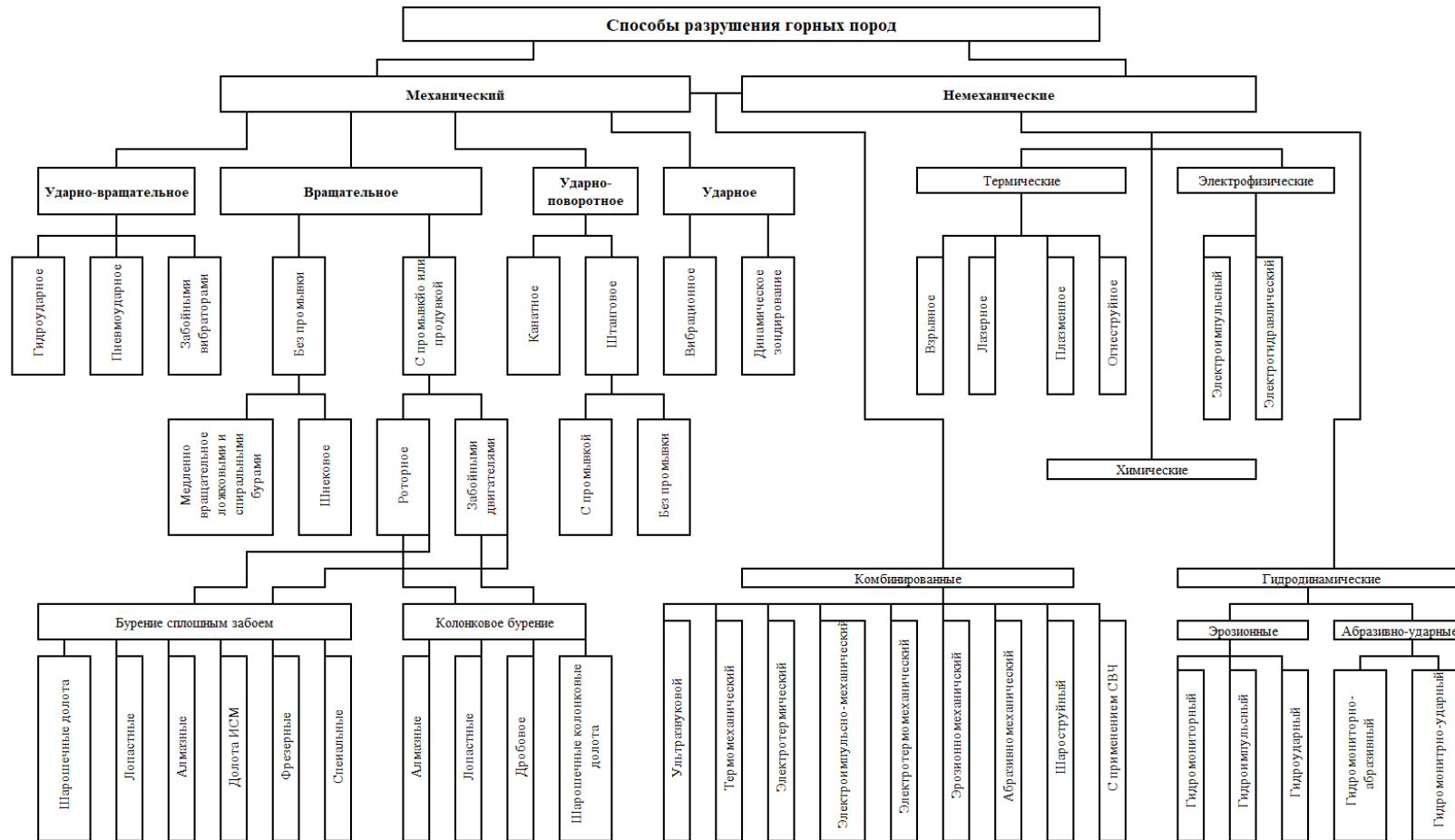


Рисунок В.1 – Классификация методов разрушения горных пород и способов бурения

Приложение Г

Перспективные немеханические и комбинированные способы разрушения горных пород

Таблица Г.1 – Результаты анализа перспективных немеханических и комбинированных способов разрушения горных пород

Способ	Преимущества	Недостатки	Благоприятная область применения
Лазерный	<ol style="list-style-type: none"> 1. Неограниченная износостойкость. 2. Твёрдость ГП не имеет существенного значения. 3. Более высокие показатели КПД. 4. Потенциальное увеличение скорости проходки. 5. Обеспечение временной обсадной колонны. 6. Меньшая зависимость от таких параметров, как нагрузка на долото, скорость циркуляции бурового раствора, скорость вращения и конструкция долота. 7. Точность бурения, т.к. лазер является источником когерентного электромагнитного излучения высокой направленности. 8. Обеспечение расширенных возможностей управления скважиной. 9. Бурение монодиаметром. 10. Достижение целей экологической безопасности, и экономически эффективных показателей. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Высокие энергозатраты. 2. Зависимость от тугоплавкости отдельных ГП. 3. Глубокие скважины, пробуренные лазером, в некоторой степени сужаются с глубиной. 4. Нагретой до плавления порода может вспучиваться. Вспучивание породы нарушает геометрию круга ствола и уменьшает его диаметр, что может стать причиной прихвата. 5. Сильная зависимость скорости бурения от требуемого диаметра. 6. Высокие показатели забойных температур; 7. Потребность в большом количестве сырья; 8. Технически сложное устройство, с малым шансом ремонта и обслуживания на месте. 9. Сложность поддержания необходимого расстояния между долотом и забоем, а также диаметра скважины. 10. Сложность реализации стабильной и контролируемой циркуляции ПЖ. 11. Потеря технологических свойств бурового раствора из-за высоких температур. 	<p>В любых горных породах. Применение данной технологии актуально в условиях сверхглубокого научного и промышленного бурения.</p>

Продолжение таблицы Г.1

Плазменный	<p>1. Более высокая скорость: в 2-3 раза более высокая скорость проходки в фундаментных образованиях, таких как гранит, гнейс и т.д., чем у обычного механического бурения.</p> <p>2. Для начала бурения не требуется никакой нагрузки на долото и не требуется вращения; следовательно, инструмент менее подвержен механическому износу.</p> <p>3. Сокращение времени СПО: установка для плазменного бурения преимущественно осуществляется через колтюбинг (ГНКТ).</p> <p>4. Непрерывная циркуляция во время бурения, предотвращающая зашламление выбуренной породой.</p> <p>5. Обеспечение расширенных возможностей управления скважиной.</p> <p>6. Существенное снижение шума и вибраций: положительный фактор для работающего персонала.</p> <p>7. Увеличение срока службы бурового ПРИ по сравнению с обычными методами механического бурения, широко используемыми сегодня.</p> <p>8. Бурение монодиаметром.</p> <p>9. Достижение целей экологической безопасности, и экономически эффективных показателей.</p>	<p>1. Высокие энергозатраты.</p> <p>2. В случае применения импульсного метода, ограниченное применение (твердых и крепких ГП).</p> <p>3. Высокие показатели забойных температур.</p> <p>4. Нагретая до плавления порода может вспучиваться. Вспучивание породы нарушает геометрию круга ствола и уменьшает его диаметр, что может стать причиной прихвата.</p> <p>5. Потребность в большом количестве сырья.</p> <p>6. Технически сложное устройство, с малым шансом ремонта и обслуживания на месте;</p> <p>7. Сложность поддержания необходимого расстояния между долотом и забоем, а также диаметра скважины.</p> <p>8. Сложность реализации стабильной и контролируемой циркуляции ПЖ.</p> <p>9. Потеря технологических свойств бурового раствора из-за высоких температур.</p>	<p>В случае плавления ГП – в любых горных породах, в случае использования импульсного метода – в твердых и крепких горных породах. Применение данной технологии актуально в условиях сверхглубокого научного и промышленного бурения.</p>
Электро-термо-механический	<p>1. Используется без промывочной жидкости; Нет необходимости в осуществлении циркуляции.</p>	<p>1. Расплав, вытесняемый газовым давлением, быстро остывает и, охлаждаясь, прилипает к трубе и стенкам скважины, что ведет к аварийной ситуации (прихвату).</p>	<p>Применяется в условиях Антарктиды для расплавления льда.</p>

Продолжение таблицы Г.1

Термомеханический	<ol style="list-style-type: none"> 1. Меньшие требуемые мощности, в сравнении с привычными механическими способами. 2. Более высокие показатели КПД 3. Потенциальное увеличение скорости проходки. 4. Меньшая нагрузка на долото. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Высокие энергозатраты. 2. Высокие показатели забойных температур; 3. Потенциально возможный более быстрый износ ПРИ из-за высоких температур. 4. Нагретая до плавления порода может вспучиваться. Вспучивание породы нарушает геометрию круга ствола и уменьшает его диаметр, что может стать причиной прихвата. 5. Потребность в большом количестве сырья. 6. Технически сложное устройство, с малым шансом ремонта и обслуживания на месте. 7. Сложность реализации стабильной и контролируемой циркуляции ПЖ. 8. Потребность в большом количестве сырья 9. Технически сложное устройство, с малым шансом ремонта и обслуживания на месте. 10. Необходимость наличие на буровой различных по размеру долот. 11. Потеря технологических свойств бурового раствора из-за высоких температур. 	В любых горных породах. Применение данной технологии актуально в условиях сверхглубокого научного и промышленного бурения.
Электроимпульсный	<ol style="list-style-type: none"> 1. Высокая эффективность. 2. Низкий показатель износа породоразрушающего инструмента. 3. Меньшее по сравнению с механическими методами количество проводимых спускоподъемных операций. 4. Бурение монодиаметром. 5. Эффективность бурения не зависит от крепости пород и глубины скважины и определяется параметрами электрического пробоя и условиями удаления продуктов разрушения. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Необходимость использовать диэлектрик в качестве ПЖ. 2. Бурение скважин возможно лишь в скважинах, где отсутствуют зоны поглощения 3. Технически сложное устройство, с малым шансом ремонта и обслуживания на месте. 4. Сложность поддержания необходимого расстояния между долотом и забоем, а также диаметра скважины. 	Любые горные породы, при условии отсутствия зон поглощения.

Окончание таблицы Г.1

Электроимпульсно-механический	<ol style="list-style-type: none"> 1. Более высокая эффективность (которая не зависит от показателя крепости буримой породы или глубины скважины). 2. Меньшие требуемые мощности, в сравнении с привычными механическими способами. 3. Более высокие показатели КПД. 4. Потенциальное увеличение скорости проходки. 5. Меньшая нагрузка на долото. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Необходимость использовать диэлектрик в качестве ПЖ; 2. Бурение скважин возможно лишь в скважинах, где отсутствуют зоны поглощения. 3. Технически сложное устройство, с малым шансом ремонта и обслуживания на месте. 4. Потенциально возможный более быстрый выход из строя ПРИ из-за особенностей конструкции 5. Необходимость наличие на буровой различных по размеру долот. 6. Увеличение времени на СПО в случаях выхода из строя долот. 	В любых горных породах, при условии отсутствия зон поглощения.
Шароструйный	<ol style="list-style-type: none"> 1. Возможность реализации на забое скважины большой мощности. 2. Значительная продолжительность рейса, которая будет. 3. Ограничиваться лишь износостойкостью шароструйного аппарата, т.к. возможна замена износившихся шаров новыми. 4. Простота конструкции шароструйного аппарата. 5. Отсутствие необходимости в создании высоких осевых нагрузок на ПРИ. 6. Возможность бурения с малой частотой вращения ПРИ (а также без вращения), что позволяет уменьшить износ бурильных труб, использовать легкосплавные бурильные трубы, а также проводить искусственное искривление ствола скважины. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Малое значение КПД шароструйного бурения, в связи с чем для эффективного разрушения крепких горных пород необходимо использование мощной насосной техники. 2. Отсутствие экспериментально полученной информации об энергоёмкости разрушения горных пород шароструйным способом. 3. Нецелесообразность бурения в сильно трещиноватых, а также пластичных горных породах. 4. Сложность конструкции и малое значение высоты отбираемого керна при бурении шароструйными бурильными головками. 5. Сложность поддержания необходимого расстояния между долотом и забоем, а также диаметра скважины. 6. Трудность выбора конструкции шароструйного аппарата для конкретных геологических условий бурения. 7. Отсутствие единой методики расчета геометрических параметров шароструйных снарядов и технологических параметров режима бурения. 	В устойчивых твёрдых и крепких горных породах с отсутствием интервалов, склонных к осыпям, обвалам и поглощениям промывочной жидкости.

Приложение Д

Анализ вредных и опасных производственных факторов, обоснование мероприятий по защите персонала от их воздействия

Таблица Д.1 — Производственные процессы, формирующие опасные и вредные факторы при строительстве скважины.

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-74) [98]		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1. Подготовка и эксплуатация бурового оборудования. 2. Ведение работ механическим способом бурения. 3. Ведение работ механическим новыми способами бурения (термический, химический, комбинированный). 4. Спускоподъемные операции. 5. Приготовление и обработка технологических жидкостей.	1. Отклонение показателей микроклимата на открытом воздухе. 2. Повышенный уровень шума. 3. Повышенный уровень вибрации. 4. Повышенная загазованность воздуха рабочей среды. 5. Недостаточная освещённость. 6. Повреждения в результате контакта с живыми организмами. 7. Физические и нервно-физические перегрузки.	1. Движущиеся машины и механизмы, подвижные части производственного оборудования. 2. Электрический ток. 3. Расположение рабочего места на значительной высоте, падение предметов с высоты. 4. Пожаровзрывоопасность.	1. Уровень шума регламентируется: ГОСТ 12.1.029-80 [85], ГОСТ 12.1.003-83 [86]; 2. Параметры микроклимата устанавливаются в: СанПиН 2.2.4-548-96 [87]; 3. Виды физических и нервно-физических перегрузок приводятся в: ГОСТ 12.0.003-74 [88]; 4. Параметры уровней вибрации устанавливаются в: ГОСТ 12.1.012-2004 [89]; 5. Параметры движущихся машин и механизмов устанавливаются в: ГОСТ 12.2.003-74 [90], ГОСТ 12.3.009-76 [91]; 6. Параметры электрического тока устанавливаются в: ГОСТ 12.1.038-82 [92], ГОСТ 12.1.045-84 [93], ГОСТ 12.1.030-81 [94]; 7. Требования по пожарной безопасности представлены в: ФЗ №123 от 22.07.2008 г. [95]

Приложение Е

Вредные воздействия на окружающую среду и природоохранные Мероприятия

Таблица Е. 1 – Вредные воздействия на окружающую среду [114]

Природные ресурсы, компоненты окружающей среды	Вредные воздействия	Природоохранные мероприятия
Земля и земельные ресурсы	Загрязнение почвы нефтепродуктами, химреагентами и производственными отходами.	1. Сооружение поддонов, отсыпка площадок для техники; 2. Вывоз, уничтожение и захоронение остатков нефтепродуктов, химреагентов, производственных отходов и мусора.
	Засорение почвы.	Вывоз и захоронение.
	Создание выемок и неровностей, усиление эрозионной опасности. Уничтожение растительности.	Засыпка выемок, горных выработок.
Земля и земельные ресурсы	Уничтожение и повреждение почвенного слоя сельхозугодий и других земель.	1. Рациональное планирование мест и сроков проведения работ; 2. Соблюдение нормативов отвода земель; 3. Рекультивация земель.
Лес и лесные ресурсы	Лесные пожары.	Уборка и уничтожение порубочных остатков, и другие меры ухода за лесосекой.
	Оставление недорубов, захламление лесосек.	Оборудование пожароопасных объектов, использование вырубленной древесины.
	Порубка древостоя при оборудовании буровых площадок.	Попенная плата, соблюдение нормативов отвода земель в залесенных территориях.
Недра	Нарушение состояния геологической среды (подземные воды, изменение геологических свойств пород).	Ликвидационный тампонаж скважин. Гидрогеологический, гидрогеохимический и инженерно-геологический мониторинг в скважинах.
Воздушный бассейн	Выбросы пыли и токсичных газов из подземных выработок; Выбросы вредных веществ при работе котельных и электростанций.	Мероприятия предусматриваются в случаях непосредственного вредного воздействия.
Вода и водные ресурсы	Загрязнение сточными водами и мусором (буровым раствором, нефтепродуктами).	Отвод, складирование и обезвреживание сточных вод, уничтожение мусора; сооружение водоотводов, отстойников.
	Механическое и химическое загрязнение водотоков.	Рациональное размещение отвалов, сооружение специальных эстакад и т. д.
	Загрязнение бытовыми стоками.	Очистные сооружения для буровых стоков
	Загрязнение подземных вод при смешении различных водоносных горизонтов.	Ликвидационный тампонаж пробуренных скважин.